

접착필름 절단용 다이 칼날 소재에 적용된 접착 방지 코팅의 물 접촉각 및 박리강도에 관한 연구

하유진¹ · 김민욱² · 김욱배^{3*}

¹한국공학대학교 대학원 기계설계공학과 석사과정생
²쥘파인테크글로벌 생산기술연구소 소장
³한국공학대학교 기계설계공학부 교수

A Study on Water Contact Angle and Peel Strength by Anti-Adhesion Coating on Die Blade Materials for Adhesive Film Cutting

Yujin Ha¹, Min-Wook Kim² and Wook-Bae Kim^{3*}

¹Master's Student, Graduate School, Dept. of Mechanical Design Engineering, Tech University of Korea

²Director, Production Technical Research Center, Finetech Global Co.

³Professor, Faculty of Mechanical Design Engineering, Tech University of Korea

(Received September 3, 2023; Revised October 3, 2023 ; Accepted October 23, 2023)

Abstract – Anti-adhesion coatings are very important in the processing of adhesive materials such as optical clear adhesive (OCA) films. Choosing the appropriate release coating material for dies and tools can be quite challenging. Hydrophobic surface treatment is usually performed, and its performance is often estimated by the static water contact angle (CA). However, the relationship between the release performance and the CA is not well understood. In this study, the water CAs of surfaces coated with anti-adhesion materials and the peel strengths of the acrylic-based adhesive films are evaluated. STC5 and SUS304 are selected as the base materials. Base materials with different surface roughnesses are produced by hairline finishing, mirror-polishing, and end milling. Four fluoropolymer compounds, including a self-assembled monolayer, are selected to make the base surface hydrophobic. Static, advancing, and receding CAs are mostly increased due to the coating, but the CA hysteresis is found to increase or decrease depending on the coating material. The peel strengths all decreased after coating and are largely dependent on the coating material, with significantly lower values observed for fluorosilane and perfluoropolyether silane coatings. The peel strength is observed to correlate better with the static CA and advancing CA than with the receding CA or hysteresis. However, it is not possible to accurately predict the anti-adhesion performance based on water CA alone, as the peel strengths are not fully proportional to the CAs.



© Korean Tribology Society 2023. This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License(CC BY, <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction of the work in any medium, provided the original authors and source are properly cited.

Keywords – Anti-adhesion coating(비접착 코팅), Contact angle(접촉각), Die blade(다이 블레이드), Interfacial energy(계면 에너지), Peel strength(박리 강도)

Nomenclature

*Corresponding author: Wook-Bae Kim

Tel: +82-31-8041-0430, Fax.: +82-31-8041-0439

E-mail: wkim@tukorea.ac.kr

<https://orcid.org/0000-0001-8144-3898>

W_a : Work of adhesion (mN/m) (접착일)

g : Surface free energy (mN/m) (표면자유에너지)

- θ : Static contact angle (°) (정적접촉각)
- θ_a : Advancing contact angle (°) (전진접촉각)
- θ_r : Receding contact angle (°) (후퇴접촉각)

1. 서 론

플라스틱, 고무, 금속 등의 가공공정에서 금형 또는 공구 표면으로의 접착(adhesion) 현상은 공정 트러블의 주요한 원인이 된다. 제품이 얇고 경량화될 수록, 계면 접착은 피가공품의 변형 및 외관 손상과 그로인한 공정 중단을 유발하기 쉽다. 감압성 접착(pressure sensitive adhesive) 소재의 경우, 전자부품 및 반도체 패키징용 본딩 필름(attach film) 필름, 터치패널 디스플레이용 투명 광학접착 (OCA) 필름, 기기용 시일 (seal)이나 댄퍼 필름, 그리고 유연인쇄회로기판 (FPCB) 필름 등에 적용되며, 블랭킹이나 로터리 다이커팅에 의한 연속생산된다 [1,2]. 접착제는 커팅과정에서 금형의 칼날(blade) 표면으로 전이되어 타발-이형과정에서 가공필름의 변형과 위치편차를 유발하고, 칼날 오염으로 생산성을 저하시킨다. 이러한 문제의 대책으로서 금형이나 공구 표면을 불소화합물이나 실리콘과 같이 표면 자유에너지가 낮은 재료를 코팅하고 요철에 의한 접촉면적을 줄여 비접착(anti-adhesive)화 한다[3-5].

비접착 효과는 코팅 및 피가공 소재에 따라 달라지므로 가공에 적용전에 분석이 필요하다. 직접적인 방법은 접착 필름에 코팅 공구재료 시편에 압력으로 접착한 다음 박리시험(peel test)하여 전단 모드(shear mode) 혹은 pull-off 모드의 박리강도(peel strength)를 평가하는 것이다.

한편 접착의 근원이 이종 재료 사이에 표면에서의 분자간 상호작용, 즉 재료 고유의 표면에너지로부터 비롯된 것이므로, 정적 접촉각 측정을 통한 접착성을 추정할 수 있다. 주로 물을 프로빙(probing) 액체로 사용하지만 표면장력이 낮은 다양한 극성·비극성 용매도 사용된다. 접촉각의 측정을 통해 접착성의 변화를 추정할 수 있는데, 고체와 액체 사이의 계면을 분리하는데 필요한 에너지인 접착일 (work of adhesion)은 다음의 Young-Dupré 식으로 설명할 수 있다 [6].

$$W_a = \gamma_L(1 + \cos\theta) \quad (1)$$

고체와 고체 표면간 접착 일은 직접 측정할 수가 없다. 대신 표면장력이 알려진 액체의 접촉각을 측정하여

대상 고체의 표면에너지를 파악하고 이를 토대로 접착 일을 계산할 수 있기 때문에 접촉각은 중요한 지표가 된다[7-10]. 이에 접촉각은 코팅, 인쇄, 접합 등 다양한 공정에서 접착 및 접착 성능의 지표가 되고 있다. 표면에너지가 증가하면 친수성 표면으로서 물방울 접촉각이 낮아지고($\theta < 90^\circ$) 재료간 친화성이 증가한다. 반대로 표면에너지를 낮추면 소수성 표면이 되어 접촉각이 증가하며 ($\theta > 90^\circ$) 접착성이 줄어든다.

그러나 폴리머 재료의 정적 접촉각과 접착성의 관계는 그 상관성이 일정하지 않은 경우가 많다. Sowa 등 [11]은 아크릴계 접착필름을 polytetrafluoroethylene (PTFE) 등 5개의 열가소성 폴리머와 스테인레스스틸에 대해 박리시험한 결과, 박리강도가 대상 재료의 표면에너지/접촉각과 비례하지 않는다고 하였다. Rios[12] 등 역시 실리콘 고무, Polypropylene (PP), polymethyl methacrylate (PMMA), polycarbonate (PC), PTFE의 표면에너지와 물 및 디요오드화메탄과의 접합강도(adhesion strength)를 분석한 결과 가장 접촉각이 가장 큰 PTFE는 접착강도 역시 가장 높고, 시험 재료들의 정적 접촉각과 접착성은 서로 상관성이 없다고 하였다. Schmidt 등[13]은 biofouling을 위해 표면에너지를 낮춘 불소계 화합물 코팅면에 대한 에폭시 접착 필름의 박리강도는 접촉각 히스테리시스 및 후퇴접촉각과 상관성이 있다고 하였다. 또한 Samuel 등[14,15]은 물과 다양한 고분자 계면 상호작용에 있어서 물방울이 표면에 닿아서 젖을 때와 후퇴할 때의 접착력은 각기 다른 동적 접촉각 인자에 상관된다고 하였다.

접착필름 절단 등 각종 폴리머 가공공정에서 금형에 대한 이형(mold-release) 표면처리는 필수적이고, 이에 다양한 계통의 비접착 코팅 재료가 적용되고 있다. 그러나 비접착성을 표면의 소수화 처리와 동일하게 인식하는 경우가 많다. 기존 연구들에서도 이형성의 변화를 정량화하기 보다는 대체로 액체의 정적 접촉각 변화를 확인하는데 그치고있다 [4,16-19]. 저자들의 조사한 바, 비접착 폴리머 코팅재료에 의한 표면 소수화가 실제로 이형성을 개선하는지에 관한 연구는 찾아보기 어려웠다. 이에 본 연구는 물 접촉각과 비접착성 지표로서 박리강도를 측정 분석하여 접촉각과 이형성의 관계를 이해하고자 하였다. 구체적으로, 거칠기 효과를 고려한 스테인레스스틸과 탄소공구강 표면에 불소계 폴리머 등 복수의 유기물 기반의 소수성 코팅을 수행하고 코팅 표면에서 물의 정적 접촉각과 동적 접촉각(θ_a , θ_r)을 측정하고, 또한 감압성 접착제 필름과의 박리강도를 측정하였다. 이를 통해 코팅 표면에서 접촉각과 실제 접착제 이형성의 지표

인 박리강도와와의 데이터의 상관성을 평가하였다.

2. 실험방법

2-1. 재료

금형 및 공구소재로서 코팅대상 표면으로서 탄소공구 강 STC5와 STS304를 선택하고 $40 \times 60 \times 0.5 \text{ mm}^3$ 크기로 시편을 제작하였다. 표면의 마무리 가공으로서 STC5의 경우 (i) 엔드밀링가공(STC5-EM), (ii) #320 브러시로 직선 헤어라인 가공(STC5-HL)하였다. STS304의 경우 (i) ASTM A480에 규정된 No.8의 경면처리 (super mirror finish) (STS304-SM)과 (ii) #180 브러시로 직선 헤어라인(STS304-HL) 마무리 시편을 이용하였다. 이들 시편과 표면거칠기 사양은 Table 1과 같다.

세정방법으로서 STC5는 isopropyl alcohol로 탈지 후 탈이온수로 세척하였다. STS304는 에탄올로 5분간 초음파 탈지 후 탈이온수 세척하였다.

금형의 소수화 코팅을 위해 4종의 재료를 사용하였다. 자기조립단분자막으로서 Heptadecafluoro-1,1,2,2-tetra-hydrodecyl)trichlorosilane (HDFS) (Gelest, USA) 사용하였는데, hexane 용액(Duksan, South Korea)과 1:1000 부피 비율로 혼합한 용액에서 상기 기판을 10분간 담가 두었다가 탈이온수로 세정 후 후드 내에서 자연 건조하였다. 상용의 비점착, 소수화 코팅제로서 불소화 아크릴 공중합체가 분산된 솔루션 (EGC-1700, 3M, USA), 불소화 실레인 중합체 솔루션 (EGC-1720, 3M USA)는 모두 시편에 드롭(drop) 코팅하고 후경화 (50도

/135도 10분)하였다. 마지막으로 내지문 코팅으로 주로 활용되는 perfluoropolyether(PFPE)-silane 솔루션 (WAF, Ceko, Korea)은 코팅 후 150도, 15분 조건으로 열경화하였다.

Table 2에 코팅 재료와 매끈한 유리 표면에서의 접촉각, 그리고 본 논문에서의 호칭을 제시하였다.

2-2. 접촉각 측정

정적 접촉각은 Sessile drop method로 측정하였고, 측정장비는 Contact Angle Goniometer, (Ossila, UK)를 이용하였다. 속도조절이 가능한 시린지 펌프에 연결된 시린지와 접촉각 이미지처리 SW를 사용하였다. 본 실험에서는 물(DI water)만 시험 액체로 사용하였다. 액적은 20mm/s의 속도로 10 μL 를 토출하고 시편위의 액적이 안정된 직후에 접촉각을 측정하였다. 헤어라인 가공 시편(STS304-HL, STC5-HL)은 큰 표면거칠기에 의한 접촉각 측정을 위해 결 방향에서 접촉각을 촬영하였다. 동적 접촉각은 Fig. 1과 같이 시린지를 통해 액적의 체적을 증가 혹은 감소시킬 때 고체-기체-액체의 3상 계면을 관찰하는 방법으로서 액체와 기판 사이의 계면이 움직이기 바로 직전의 각을 측정한 값이 전진 접촉각, 반대로 액체의 양을 줄이면서 계면이 움직이기 바로 직전의 각을 측정한 값이 후퇴 접촉각이다. 접촉각 히스테리시스는 동적 접촉각에서 전진 접촉각과 후퇴 접촉각의 차이($\theta_A - \theta_R$)이다. 동적접촉각은 25 μL 를 토출하여 측정하였다. 모든 측정은 시편 내에서 서로 다른 부분에 5회 액적을 떨어 뜨려 측정하였다.

Table 1. Substrate material and finish

Material	Finish	Surface roughness (Ra/Rms/Rz, μm)	Name
STS304	Polishing	0.001 / 0.002	STS304-SM
STS304	Hairline	0.024 / 0.028	STS304-HL
STC5	Endmilling	0.010 / 0.012	STC5-EM
STC5	Hairline	0.013 / 0.016	STC5-HL

Table 2. Coating material

Material	Water contact angle on glass ($^\circ$)	Name
Fluorinated acrylate copolymer	105	FA
Fluorosilane polymer	105	FS
Fluorinated Alkyl Silane	110	HDFS
Perfluoropolyether-silane	110	PFPE

2-3. 박리강도 측정

박리 시험은 점착필름의 시험판에 대한 180°당겨벗김 점착력 측정 방식을 사용하였다[21]. 시험에 사용된 테이프는 Nitto 사의 Polyester adhesive tape NO.31B로, 폴리에스터 필름 위에 아크릴계 감압성 점착제로 구성된 테이프이다. 테이프의 두께는 0.053 mm, 폭 19 mm이다. 박리시 힘은 만능재료시험기(Instron 3345, USA)

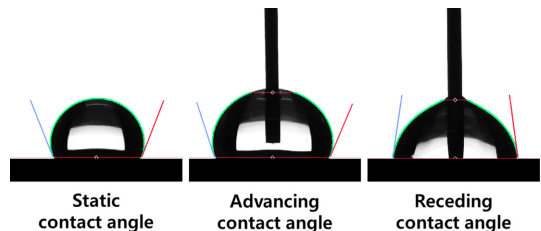


Fig. 1. Measurement of dynamic contact angle.

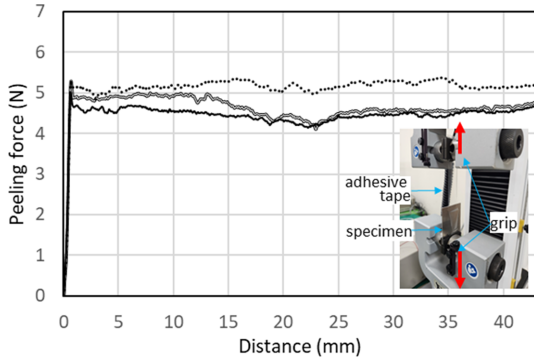


Fig. 2. Measurement data of peeling force.

를 사용하여 측정을 하였다. 접착테이프는 200mm를 잘라 온도 23°C, 상대습도 50%의 상태에서 롤러를 10회 왕복하여 시편에 압착하였다. 박리힘 측정은 300 mm/min의 속도로 당겨 벗기고 10mm 간격으로 4점을 측정한다. 본 실험에서는 Fig. 2와 같이 박리과정의 힘을 초당 100회 샘플링하였으며 3개의 시편을 반복측정하였다. 10 mm 간격으로 추출한 총 12점의 평균 힘을 측정하고 이를 테이프의 폭으로 나누어 박리강도를 평가한다.

3. 실험결과 및 분석

3-1. 접촉각

Fig. 3에 4개의 시편에 대해 코팅하지 않았을 때 (None)와 4가지 코팅(FA, FS, HDFs, PFPE)에 대한 접촉각 측정 평균과 표준편차를 나타내었다. Fig. 3(a)는 정적 접촉각의 결과이다. 코팅하지 않은 STS304의 경우는 경면(SM)에서 72.0도, 헤어라인(HL)은 97.7도가 되어서 표면거칠기에 의한 약한 소수성 거동을 보이는 반면, STC5의 경우는 연삭표면에서 접촉각이 88.5도에서 헤어라인 표면은 43.0도로 감소하여 거칠기 증가에 따라 뚜렷한 친수성 거동을 보인다. 소수화 코팅 표면에서는 STS304와 STC5의 거칠기가 큰 헤어라인 표면에서 접촉각이 높아지는 공통적인 경향을 보이며 그 정도는 시편과 코팅재료마다 다르다.

Fig. 3(b)는 전진접촉각으로서 전반적으로 정적 접촉각과 유사하며 5도 내의 만큼 크다. 전진접촉각은 준정적(metastable)상태의 젖음성의 지표로서 정적접촉각에 비해 약간 큰 값을 갖는다. 조건에 따른 전진접촉각 변화는 정적접촉각의 변화와 유사하다. Fig. 3(c)는 후퇴접촉각의 측정결과로서 정적/전진접촉각에 비해 작은 값을 보이며 조건에 따라 그 변화량의 차이가 있다. 동적 접촉각들은 액적과 고체표면의 접착(adhesion) 혹은 접착

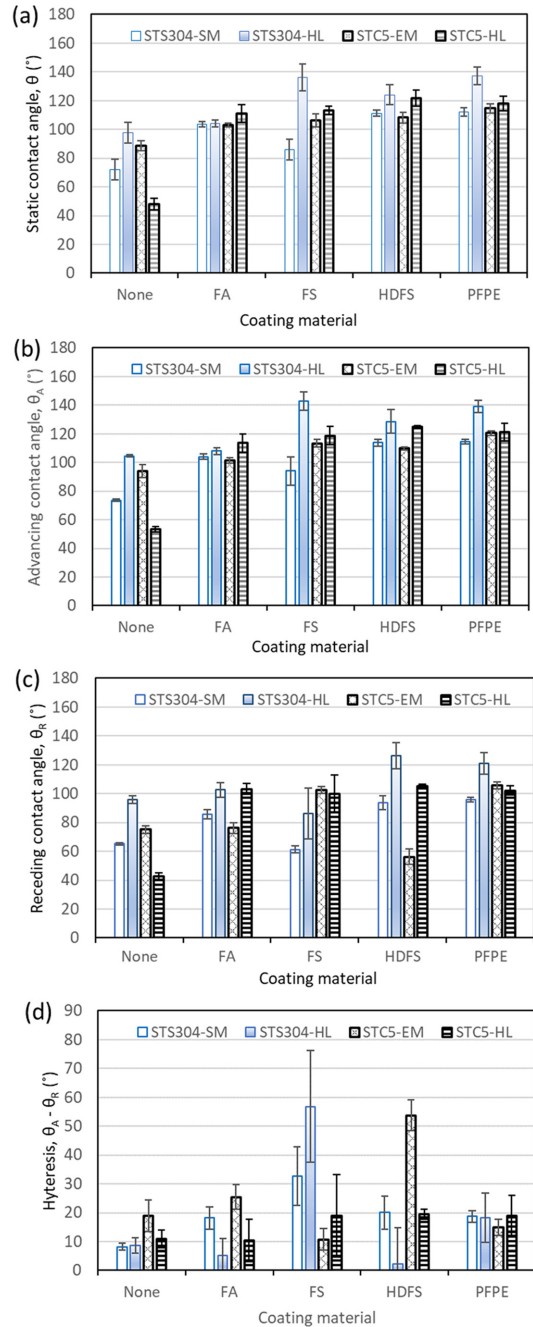


Fig. 3. Water contact angle on none-coated and 4 different materials-coated surfaces of STS304-SM, STS304-HL, STC5-EM, and STC5-HL.

선의 고정(contact line pinning)에 의해 영향을 받으며 액체와 고체표면간의 접착성에 관련이 있다. 평형상태의

접착각의 물리적 원리 (Young의 방정식)는 전진, 후퇴접착각에도 적용될 수 있다.

$$\cos\theta_A = \frac{\gamma_S - \gamma_{SL}^A}{\gamma_L} \quad (2)$$

$$\cos\theta_R = \frac{\gamma_S - \gamma_{SL}^R}{\gamma_L} \quad (3)$$

후퇴접착각이 작은 이유는 물방울 분자와 비점착 코팅재료 분자간의 친화도가 접착에 의해 증가하였으며 후퇴시 계면에너지 (γ_{SL}^R)가 전진시 계면에너지(γ_{SL}^A)보다 감소하였기 때문으로 볼 수 있다.

Fig. 3(d)에 전진-후퇴 접착각의 차이인 접착각 히스테리시스를 나타내었다. 일반적으로 히스테리시스가 낮은 표면은 발액성이 우수한 표면으로 여겨지며, 소수화 코팅에 대해 높은 발액성을 기대하기도 한다. 그러나 본 실험결과, 소수화 코팅 이후 히스테리시스가 작아지는 경우는 일부임을 알 수 있다. STS304-SM은 비점착 코팅 후에 모두 히스테리시스가 증가하였다. STS304-HL은 FA와 HDFS코팅후에 히스테리시스가 감소하였으나 FS 코팅후에는 강한 고정효과를 보이며 큰 히스테리시스가 측정되었다. STC5-EM에서도 HDFS코팅에 의해 히스테리시스가 크게 증가하지만 감소하는 코팅도 있다. 즉 히스테리시스는 특정접착각과의 상관성이 관찰되지 않았다. PFPE 코팅의 경우, 조건에 따라 큰 편차가 없는 히스테리시스를 나타내고 있다.

3-2. 박리강도

Fig. 4에 각 시편에 대한 박리강도 측정 평균과 표준

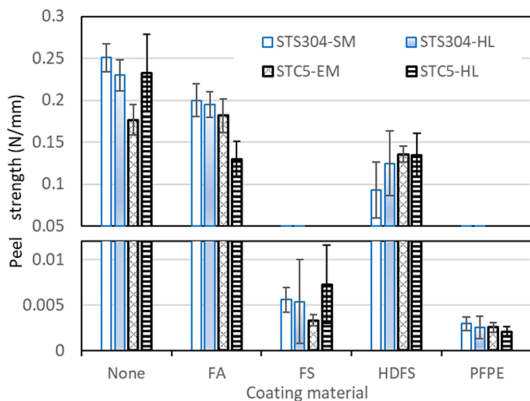


Fig. 4. Peel strength of adhesive tape bonded onto non-coated and 4 different materials-coated surfaces of STS304-SM, STS304-HL, STC5-EM, and STC5-HL.

편차를 나타내었다. 코팅없는 표면에서 대체로 큰 박리강도를 보이고 있다. 특히 가장 매끈한 표면인 STS304-SM이 가장 큰 값을 보이며, STC5의 경우는 연삭에 비해 헤어라인 마무리면에서 박리강도가 더 높는데 이는 헤어라인 면의 접착각이 매우 낮아진 것과 관련이 있을 것으로 생각된다. 소수화 코팅의 결과로 대개 뚜렷한 박리강도 감소를 보이나 FA는 그 효과가 크지 않은데, 이는 사용한 점착테이프의 점착재와 비점착코팅이 공통적으로 아크릴계 폴리머이므로 두 재료간 계면에너지가 가장 낮을 것이기 때문이다. 다음, HDFS 코팅의 경우 50-60% 수준의 박리강도 감소효과를 보인다. FS의 경우 박리강도가 상당히 감소되었으나 시편별로 편차를 보인다. 이는 후퇴접착각과 히스테리시스 측정에서도 높은 편차값이 확인된 바, 다른 코팅에 비해 불균일성이 높은 것으로 추정된다.

PFPE는 4개 조건 모두 박리강도가 매우 낮고 그 편차가 작다. 실험결과로서, 박리강도는 코팅 재료에 크게 의존하며 표면거칠기에 따른 영향은 상대적으로 작지만 전반적으로 거친 표면일수록 낮은 박리강도를 보인다.

3-3. 접착각-박리강도 관계

정적접착각과 동적접착각의 박리강도와의 관계를 표시하였다. Fig. 5(a)는 정적접착각, Fig. 5(b)는 전진접착각과 박리강도의 그래프이다.

접착각이 증가할 수록 낮아지는 표면에너지에 의해 박리강도가 낮아진다고 판단된다. 접착각이 140도 이상에 이르는 경우(FS, PFPE)에 박리강도가 0에 가깝게 명확히 낮아진다. 다만 FS코팅의 경우 STS304-SM에 코팅시, 정적 접착각이 85.9도, 전진접착각이 94.0도임에도, 박리강도가 0.005 N/mm수준으로 매우 낮다. 코팅 시편의 정적접착각과 전진접착각은 최대 143.1도까지 크게 분포하지만, 박리강도는 FS, PFPE코팅에서 표면 박리강도가 0에 가깝게 낮아지고, 나머지는 0.1 N/mm 이상으로 구분되었다. 따라서 물방울의 접착각만으로는 박리강도를 정확히 예측하기는 어렵다. Fig. 5(c)의 후퇴 접착각은 정적접착각과 전진접착각에 비해 상관도가 낮다. 후퇴접착각은 물과 표면의 점착성의 지표가 될 수 있지만, 본 연구에서와 같이 아크릴계 점착재와 소수화 코팅 재료간의 점착성을 설명하기는 어렵다. 마지막으로 Fig. 5(d)의 접착각 히스테리시스 역시 박리강도가 상관도가 매우 낮다고 볼 수 있다. 발수성의 지표인 접착각 히스테리시스와 점착필름에 대한 비점착 효과와는 상관이 매우 낮다.

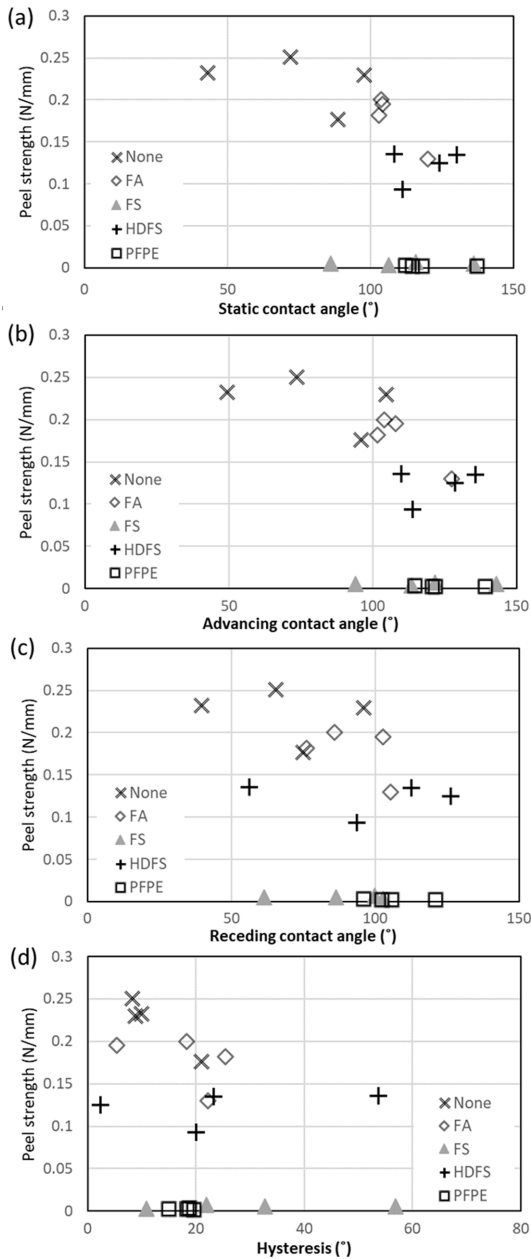


Fig.5. Peel strength with static contact angle (a), advancing contact angle (b), receding contact angle (c), contact angle hysteresis (d) from on the uncoated and coated surfaces.

4. 결 론

본 연구에서는 복수의 소수화 코팅 표면에 대해 물 접촉각과 접착성 필름의 박리강도의 관련성을 조사하였

다. 다이 칼날 재료로서 탄소공구강과 스테인레스틸을 선정하여 각각 2가지 방법으로 마무리가공을 하고 4가지의 불소화합물을 코팅하여 강제 표면을 소수화하였다. 물 접촉각은 코팅에 의해 모두 증가하였으며 코팅재료와 금속기재의 표면거칠기에 따라 다르다. 전진접촉각은 정적 접촉각의 거동과 유사하며,

접촉각 히스테리시스는 일부조건을 제외하면 대부분 증가하여 발수성은 오히려 감소하였다. 소수화 처리된 코팅 표면에서는 낮아진 표면에너지에 의해 접착필름의 박리강도값이 낮아지는 경향을 보였다. 특히 fluorosilane과 perfluoropolyether-silane 계열의 코팅에서 초소수성에 가까운 140도 이상의 접촉각이 구현되었고 박리강도의 현저한 감소가 동시에 관측되었다. 그런데 비록 완전한 소수화 효과 (90도 부근의 물 접촉각)를 보이는 표면에서도 박리강도가 크게 감소할 수 있으므로 접촉각과 박리강도가 완전한 비례관계는 아니다. 물방울의 접촉각 히스테리시스 측정결과는 접착필름의 박리강도와 상관성이 낮았다.

연구결과에 따라, 물의 접촉각을 평가하여 그 값이 소수성 영역에서 증가할수록 다이 칼날에서의 이형성이 개선될 것을 기대할 수 있지만 정확히 예측하기는 어렵다. 코팅표면과 접착 상대 물질과의 친화도에 따라 박리강도와 이형성이 좌우되므로 재료들의 표면에너지와 계면 에너지를 모두 파악하는 것이 필요하다. 금형의 비접착 성능 평가를 위한 물 접촉각의 평가는 기술적 편의성과 신속한 평가가 가능하므로 충분한 실용성이 있다.

Acknowledgements

본 연구는 2021년 중소벤처기업부의 기술개발사업 지원 (S3143366) 및 2018년 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2018R1D1A1B07050525).

References

- [1] Benedek, I., Feldstein, M. M., *Applications of Pressure-Sensitive Products*, 1st edition, CRC Press, Boca Raton, London, New York, 2019. (ISBN 9780367386542)
- [2] Hoffmann, H., Schweitzer, M., Milberg, J., "Rotary Blanking", *CIRP Annals*, Vol.48, No.1, pp.213-216, 1999.
- [3] Sun, C.-C., Lee, S.-C., Dai, S.-B., Tien, S.-L., Chang, C.-C., Fu, Y.-S., "Surface Free Energy of Non-Stick Coatings Deposited Using Closed Field Unbalanced Magnetron Sputter Ion Plating", *Applied*

- Surface Science*, Vol 253, No. 8, pp.4094-4098, 2007.
- [4] Masciullo, C., Sonato, A., Romanato, F., Cecchini, M., “Perfluoropolyether (PFPE) Intermediate Molds for High-Resolution Thermal Nanoimprint Lithography”, *Nanomaterials.*, Vol.8, No.8, pp.609, 2018.
- [5] Gierzyńska-Dolna, M., “Effect of the Surface Layer in Increasing the Life of Tools for Plastic Working”, *Journal of Mechanical Working Technology*, Vol.6, No.2, pp.193-204, 1982.
- [6] Bormashenko, E.Y., *Wetting of Real Surfaces*, 2nd Edition, Chap. 2, pp.35, De Gruyter GmbH, Berlin, Germany, 2013. (ISBN 9783110581188)
- [7] Honciuc, A., The Fundamental Equations of Interfaces. In: Honciuc, A.(eds.) *In Chemistry of Functional Materials Surfaces and Interfaces*, pp 117–133. Elsevier, 2021. (ISBN: 978-0-12-821059-8)
- [8] Silva, L. F. M. da., Öchsner, A., Adams, R. D., *Handbook of Adhesion Technology*, Springer Science & Business Media Ltd, 2011. (ISBN 978-3-642-01168-9)
- [9] Pocius, A. V., 2 - The Mechanical Properties of Materials as They Relate to Adhesion. In: Pocius, A. V. (eds.) *In Adhesion and Adhesives Technology (Fourth Edition)*, pp. 17-46, Hanser, 2021. (ISBN: 978-1-56990-855-6)
- [10] Hong, S.-H., “Fabrication of Hydrophobic Surfaces with Stereolithography”, *Tribol. Lubr.*, Vol.37, No.1, pp.1-6, 2021, <https://doi.org/10.9725/kts.2021.37.1.1>
- [11] Sowa, D., Czech, Z., Byczyński, Ł., “Peel Adhesion of Acrylic Pressure-Sensitive Adhesives on Selected Substrates versus Their Surface Energies”, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, Vol.49, pp.38-43, 2014.
- [12] Rios, P. F., Dodiuk, H., Kenig, S., McCarthy, S., Dotan, A., “The Effect of Polymer Surface on the Wetting and Adhesion of Liquid Systems”, *Journal of Adhesion Science and Technology*, Vol.21, pp.227-241, 2007.
- [13] Donald, L. S., Robert F. B., Karen, L., Dale, C. S., and Chaudhury, M. K., “Contact Angle Hysteresis, Adhesion, and Marine Biofouling”, *ACS Publications, 2004*, <https://doi.org/10.1021/la035385o>.
- [14] Law, K.Y., “Contact Angle Hysteresis on Smooth/Flat and Rough Surfaces. Interpretation, Mechanism, and Origin”, *Acc. Mater. Res.*, Vol.3, No.1, pp. 1-7, 2022.
- [15] Samuel, B., Zhao, H., Law, K.-Y., “Study of Wetting and Adhesion Interactions between Water and Various Polymer and Superhydrophobic Surfaces”, *J. Phys. Chem. C*, Vol.115, No.30, pp.14852-14861., 2011.
- [16] Zhang, X., Liu, Z., Wang, X., Xu, X., Wu, Y., Wu, D., “Comparative Study of Anti-Sticking Properties of Coatings for Tire Molds”, *Coatings*, Vol.12, No.11, pp.1740, 2022.
- [17] Yang, X., Wu, T.; Liu, D., Wu, J., Wang, Y., Lu, Y., Ji, Z., Jia, X., Jiang, P., Wang, X., “3D Printing of Release-Agent Retaining Molds”, *Additive Manufacturing*, Vol.71, pp.103580, 2023.
- [18] Akhtar, A., Ruan, H., “Review on Thin Film Coatings for Precision Glass Molding”, *Surfaces and Interfaces*, Vol.30, pp.101903, 2022.
- [19] Wu, F., Gao, S., Zeng, Y., Li, Y., Zhao, Z., Shen, C., “Study on Synthesis and Demolding Performance of Polyethylene Glycol Fatty Acid Mold Release Agents”, *Polymers for Advanced Technologies*, Vol.32, No.10, pp.4061-4069, 2021.
- [20] Rønneberg, S., Xiao, S., He, J., Zhang, Z., “Nanoscale Correlations of Ice Adhesion Strength and Water Contact Angle”, *Coatings*, Vol.10, No.4, pp.379, 2020.
- [21] KS T 1028, “Test Method of Pressure-Sensitive Adhesive Tapes and Sheets,” Korean Standards & certification, 2018.