

프린터 토너 드럼 보호용 플라스틱 커버 성형용 사출 금형의 핫 런너

밸브 게이트 개수 변화의 영향 연구: 사출성형해석 접근

Effect of Hot Runner Valve Gate Number Variation on the Injection Molding for Printer Toner Drum Protective Plastic Covers: A Simulation-Based Approach

한성열*†

Seong-Yeol Han*†

(Received 01 September 2025, Revision received 28 October 2025, Accepted 28 October 2025)

초록 : 본 연구에서는 프린터 토너 드럼 보호용 커버의 사출성형에서 핫 런너 시스템의 밸브 게이트 개수 변화가 성형성 및 성형품 품질에 미치는 영향을 해석적으로 분석하였다. Moldflow를 이용하여 밸브 게이트 2개와 게이트 1개 금형에 대하여 성형해석을 수행하였다. 사출 압력, 형체력, 금형 온도, 취출 온도 도달시간, 변형량을 주요 평가 지표로 분석하였다. 해석 결과, 게이트를 2개에서 1개로 줄이면 최대 사출 압력과 형체력이 큰 폭으로 증가하지만, 사출성형기의 허용 범위 내로 문제가 없었다. 또한, 취출 온도 도달시간과 금형 온도는 거의 차이가 없었고, 최대 변형량은 다소 증가하였으나 허용 범위 내에 있는 것을 확인하였다. 따라서 밸브 게이트를 1개로 줄이더라도 성형품 품질과 생산에 미치는 영향은 제한적이며, 금형 제작 및 유지보수 비용 절감에 효과적임을 확인하였다.

키워드 : 사출성형해석, 밸브 게이트, 핫 런너, 성형성, 변형

Abstract : This study investigated the effect of hot runner valve gate number variation on both moldability and quality of printer toner drum protective covers in the injection molding process. Using Moldflow, comparative simulations were conducted using molds with two gates and one valve gate respectively, focusing on key performance indicators including injection pressure, clamping force, mold temperature, part deformation, and ejection time. The results showed that the reduction of the number of gates from two to one caused a significant increase in both injection pressure and clamping force; however, these values remained within the operational limits of the injection molding machine. Meanwhile, both ejection time and mold temperature exhibited minimal differences. In addition, the deformation of part slightly increased but stayed within the acceptable tolerance. Overall, the reduction the number of gate from two to one had a limited impact on part quality and productivity, providing potential advantages in reduction mold manufacturing and maintenance costs.

Key Words : Injection Molding Simulation, Valve Gate, Hot Runner, Moldability, Warpage

*† 한성열(<https://orcid.org/0000-0003-2300-3178>) : 교수, 국립공주대학교 디지털융합금형공학과
E-mail : srhan@kongju.ac.kr, Tel : 041-521-9269

*† Seong-Yeol Han(<https://orcid.org/0000-0003-2300-3178>) : Professor, Department of Digital Convergence Metal Mold Engineering, Kongju National University.
E-mail : srhan@kongju.ac.kr, Tel : 041-521-9269

1. 서 론

플라스틱 사출성형 공정에서 핫 런너 시스템은 고온 상태를 유지하며 런너 내 재료의 냉각을 방지함으로써 소재 절감, 사이클 단축, 품질 향상 등의 이점을 제공한다. 특히, 핫 런너는 런너가 없으므로 재료의 소비가 감소할 뿐 아니라, 런너 냉각에 필요한 시간의 감소로 인해 전체 성형 사이클을 단축하게 해 생산성을 높인다.^{1,2)}

한편, 이러한 시스템은 초기 금형 설계 제작비용 상승 및 운전 유지관리 비용 증가라는 현실적인 제약이 있다. 특히, 매니폴더 및 컨트롤러 비용이 과대하게 소요될 때도 있으며, 게이트 수가 많아질수록 핫 런너의 구조가 복잡해지고 제작비가 증가하게 된다.³⁾

복잡한 핫 런너 시스템의 간소화를 위한 방법으로 금형의 캐비티 수나 제품 형상을 변경해야 한다. 그러나 두 방법 모두 생산성과 밀접한 관련이 있으므로 실행하기에는 극히 어려움이 있을 수 있다. 따라서 캐비티 수와 제품 형상을 유지하면서 기존 금형 및 핫 런너 설계를 그대로 적용하기 위해 핫 런너 시스템의 게이트를 줄이는 방안으로 고려할 수 있다.

게이트 수 감소는 단순한 구조 비용 절감뿐 아니라, 재료 유동과 충전 균일, 냉각과 수축 거동 그리고 변형 등에 영향을 미칠 수 있다. 실제로, 게이트 구조나 수가 변경되면, 성형품의 잔류 응력, 표면 품질, 비대칭 수축 등의 결함이 발생할 수 있다는 것이 확인되었다.⁴⁾

이러한 문제를 고려하여 본 연구에서는 핫 런너 시스템의 밸브 게이트 수를 2개에서 1개로 줄이는 설계를 통하여 금형 제작 및 설계 비용, 운영 및 유지보수 비용은 절감하면서, 성형품의 품질은 유지할 가능성을 확인하려고 한다. 그리고 실제로 핫 런너 시스템의 게이트 수를 변경하면서 금형을 제작할 경우, 상당한 비용이 필요하므로 실제 금형을 하지 않고 게이트 개수 변화가 토너 드럼 보호용 커버의 성형과 성형 품질에 미치는 영향을 비교하기 위하여 사출성형해석을 이용하였다.

2. 사출성형해석

2.1 토너 보호 커버

Fig. 1은 프린터 토너 보호용 커버의 3D 모델링이다. 크기는 가로, 세로, 두께 295 mm × 66 mm × 1.6 mm이고, 사용된 재료는 LG Chemical사의 폴리프로필렌(Polypropylene, PP) Lupol TE-5007B를 사용하였다. Table 1은 Lupol TE-5007B의 기계적 및 유변학적 물성을 나타낸 것이다.

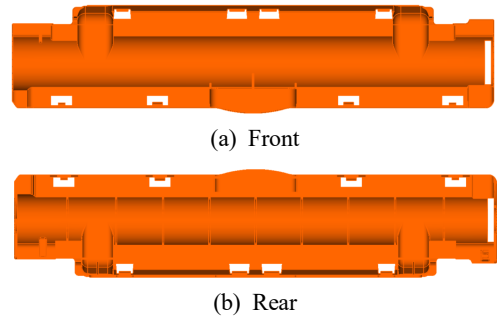


Fig. 1 3D modeling of printer toner drum cover

Table 1 Mechanical and rheological property of Lupol TE-5007B

Mechanical property	Unit	Value
Tensile modulus	MPa	1340
Shear modulus	MPa	481.3
Density	g/cm ³	0.7751
Shrinkage rate	%	1.177
Poisson ratio	-	0.392
MFR	g/10min	20
Viscosity	J/kg·C	2931

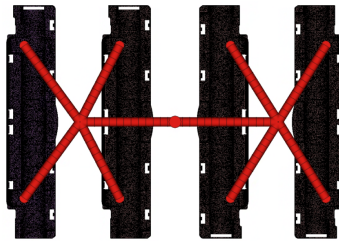
2.2 캐비티 레이아웃

토너 드럼 보호 커버의 성형은 Fig. 2와 같이 핫 런너 시스템을 갖춘 금형에서 진행된다. 총 4개의 캐비티로 구성되고, 각 캐비티는 밸브 게이트(valve gate)로 성형된다.⁵⁾

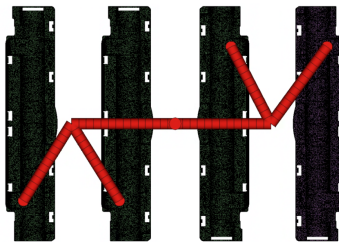
연구에서 비교될 주된 내용은 밸브 게이트의 개수를 1과 2개로 성형할 경우, 커버의 성형성과 변형 결과를 비교한다. 따라서 Fig. 2(a)와 같이 2

개의 밸브 게이트를 사용한 금형과 Fig. 2(b)처럼 1개의 밸브 게이트를 사용한 금형을 성형해석으로 비교하였다.

Fig. 3은 각 금형에 적용된 핫 런너와 밸브 게이트의 형상을 나타낸 것이다. 런너의 직경과 밸브 게이트의 크기는 Table 2와 같다. 밸브 게이트 직경은 게이트가 2개일 때보다 1개일 때가 크다.



(a) 2 valve gates



(b) 1 valve gate

Fig. 2 Hot runner layout of cover mold

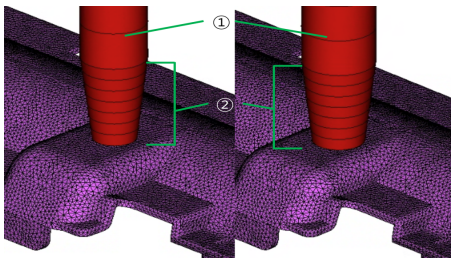


Fig. 3 Valve gate shape comparison

Table 2 Hot runner and valve gate size (mm)

Section		2 gate mold	1 gate mold
① Hot runner		Ø12	Ø14
② Valve gate	Out	Ø12 - Ø8	Ø14 - Ø10
	In	Ø2.0	Ø3.5

2.3 사출성형 해석 모델

밸브 게이트 개수가 성형에 미치는 영향을 비교하기 위하여 사출성형해석을 진행하였다. 성형 해석은 Autodesk사의 Moldflow Insight 2023을 이용하였다.⁶⁾ 커버의 두께가 1.6 mm로 일정하고, 얇으므로 듀얼 도메인(dual domain) 메쉬를 적용하였다. 총 메쉬의 크기는 2mm이며, 메쉬의 개수는 약 591,000개로 구성하였다. Fig. 4는 밸브 게이트가 2개인 금형의 성형해석 모델을 나타낸 것이다. 냉각 채널의 크기와 레이아웃은 두 금형이 모두 같으며 냉각 채널의 직경은 Ø10이다.

성형조건은 본 연구 이전에 몇 차례 진행된 사전 해석을 바탕으로 결정하였다. Table 3은 성형 조건을 나타낸 것이다. 두 금형의 성형성을 비교하기 위한 목적으로 보압(holding pressure)을 제외한 나머지 조건은 동일하게 적용하였다.

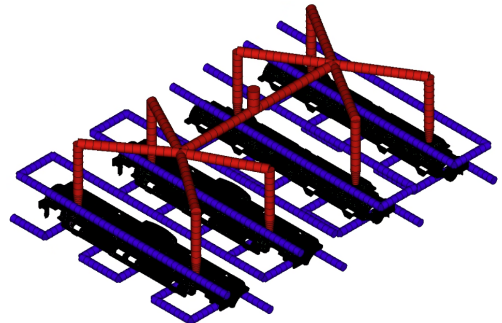


Fig. 4 Injection molding analysis model for 2 valve gate mold

Table 3 Fabricating conditions of injection molding

Conditions	2 gate mold	1 gate mold
Injection time	2.5 sec	
Melt temperature	230℃	
Packing pressure	16 MPa	40 MPa
Packing time	5 sec	
Coolant temperature	40℃	
Cooling time	15 sec	
Switch over	Filled volume 99%	

3. 사출성형해석 결과

3.1 사출 압력 비교

Fig. 5는 성형 시 금형에 발생하는 최대 압력을 비교한 것이다. 최대 압력은 일반적으로 캐비티 충전이 끝나고 보압이 작용하기 직전에 캐비티에 가해진다. 밸브 게이트가 2개인 금형은 최대 사출 압력이 19.63 MPa이며, 밸브 게이트가 1개인 금형은 최대 사출 압력인 50.26 MPa이었다.

사출 압력의 증가와 비례하여 형체력은 밸브 게이트가 1개인 금형에서 크게 나타났다. Fig. 6은 두 가지 금형의 성형에서 사출성형기에 작용하는 형체력을 나타낸 것이다. 밸브 게이트 2개의 금형 작용하는 형체력은 88.1 tonne이며, 밸브 게이트 2개의 금형 작용하는 형체력은 221.2 tonne이다.⁷⁾

밸브 게이트 개수를 2개에서 1개로 줄이면서 사출 압력과 형체력이 대폭 증가하는 결과를 확인하였다. 따라서 성형성이 나빠지는 듯 보이지만 4개의 커버를 성형하기 위한 금형의 형판은 가로와 세로가 대략 650~700 mm 이상이다. 따라서 사용되는 사출성형기는 280 tonne 이상의 사출성형기를 사용해야 할 것으로 생각된다.⁸⁾ 즉, 게이트 개수의 변화로 사출성형기의 변경은 없을 것으로 생각된다.

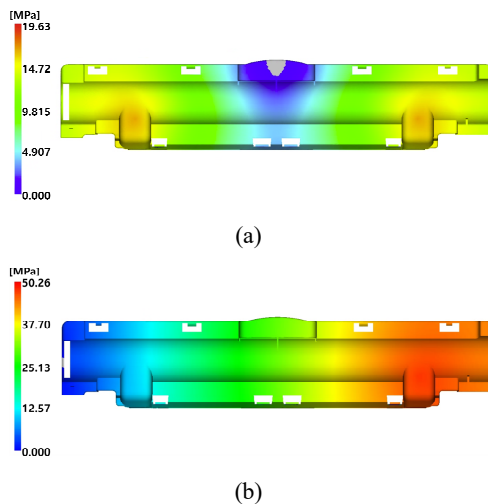


Fig. 5 Comparison of maximum injection pressure

금형 온도의 비교에서는 성형하는 재료의 추천 금형 온도를 확인할 필요가 있다. Lupol TE-5007B의 추천 금형 온도는 20~80℃이다. 따라서 두 금형의 금형 온도를 비교하면 모두 추천하는 금형 온도 범위에서 성형이 이루어지는 것을 알 수 있었다. Fig. 7은 두 금형 온도를 나타낸 것이다. 일부 국소 부분에서 약 70℃의 금형 온도가 계산되었으며, 그 외 대부분의 금형 온도는 약 40~50℃로 예측되었다.

생산성과 관련이 있는 취출 온도 도달시간을 비교하였다. 취출 온도 도달시간은 사용된 재료가 금형 내에서 충분히 고화되어 취출하는데 문제가 없을 때까지 고화에 필요한 시간을 나타낸다.⁹⁾ Lupol TE-5007B의 취출 온도는 93℃이다.

Fig. 8은 성형 후 성형품이 취출 온도까지 도달하는 시간을 나타낸 것이다. 2 밸브 게이트 금형과 1 밸브 게이트 금형 모두 약 20.2초로 같았다.

게이트 개수의 변화가 성형품의 변형에 미치는 결과도 확인하였다. Fig. 9는 성형 후의 커버에 발

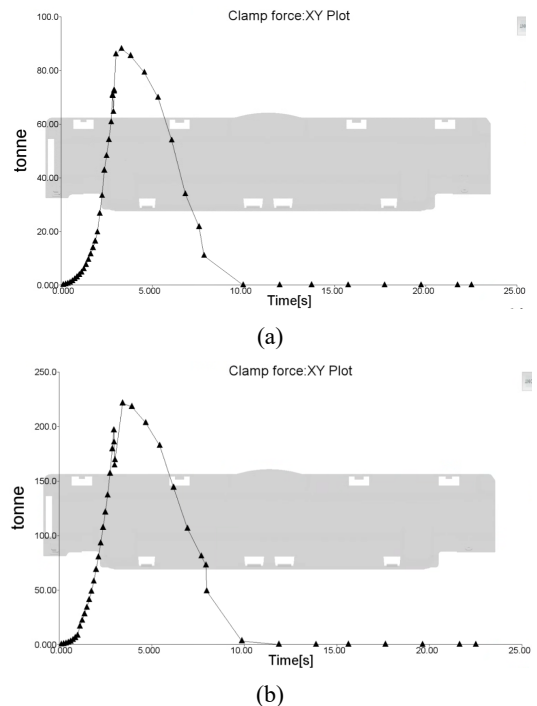


Fig. 6 Comparison of clamping force

생하는 변형량을 비교한 것이다. 밸브 게이트가 2개인 금형에서 성형된 커버의 변형량은 2.08 mm이다. 성형품의 양쪽 끝부분이 중앙으로 수축과 위쪽으로 휘는 변형이 발생하였다. 밸브 게이트가 1개인 금형에서 성형된 커버의 변형량은 2.93 mm로 두 성형품 사이의 변형량 차이는 약 0.85 mm가 있었다. 성형품의 양쪽 끝부분이 중앙으로 비대칭적으로 수축하였고, 게이트와 가까운 끝단이 비교적 많이 상승하는 변형이 발생하였다. 이는

미성형된 반대쪽 캐비티를 충전하기 위해서 계속해서 사출 압력이 가해지면서 과사출 압력(over-injection pressure)이 작용한 결과로 생각된다.¹⁰⁾

이상의 결과를 종합한 결과를 Table 4에 나타내었다. 게이트 수가 줄어들어 따라 사출 압력과 형체력이 크게 증가하였다. 이런 변화로 인하여 용량이 큰 사출성형기로 교체할 필요가 있을 것으로 생각되나 4개의 캐비티를 갖춘 커버 성형용 금형의 크기를 고려하면 원래 280 tonne 이상의 사출성형기를 사용하여 성형해야 한다. 따라서 사출성형기 변경으로 인한 추가 비용은 발생하지 않는다. 그리고 성형 사이클 타임의 증가도 없으므로 생산성에 변화가 생기지도 않음을 알 수 있다.

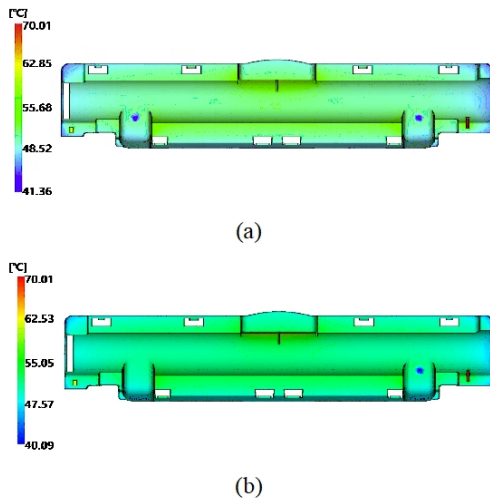


Fig. 7 Comparison of mold temperature

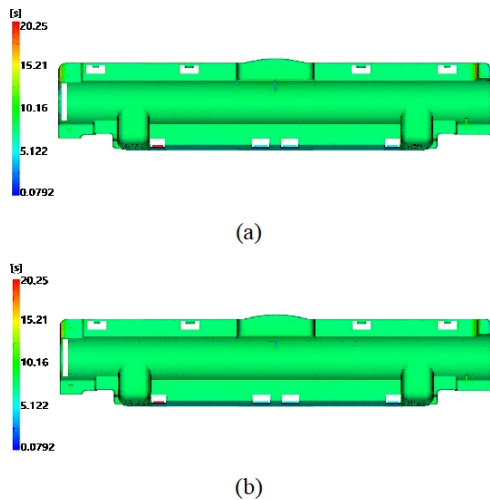


Fig. 8 Comparison of time to reach ejection temperature

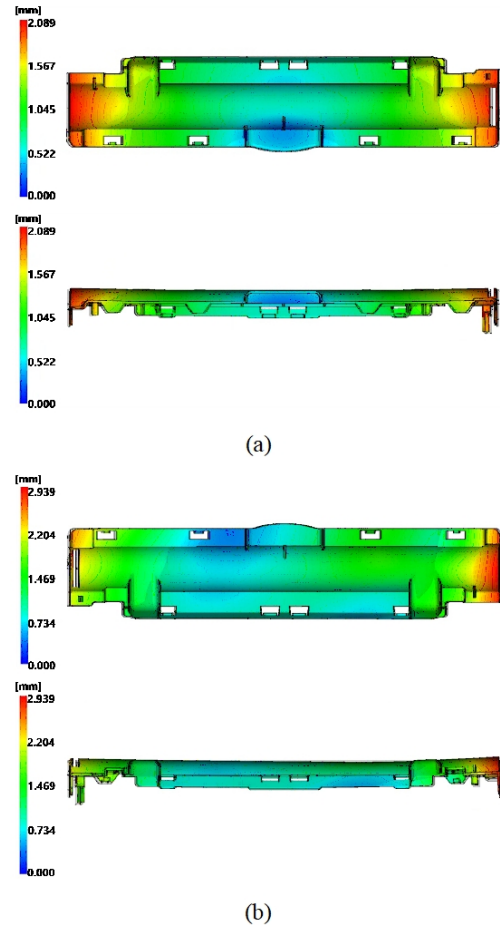


Fig. 9 Comparison of warpage

Table 4 Comparison of the results for injection molding analysis

Parameter	Unit	2 gate mold	1 gate mold	Change (%)	Evaluation
Maximum injection pressure	MPa	19.63	50.26	+156	Significant impact
Maximum clamping force	ton	88.1	221.2	+151	Significant impact
Mold temperature	℃	70		0	Almost no effect
Reach to ejection temperature	sec	20.25		0	Almost no effect
Maximum deformation	mm	2.08	2.93	+40	Normal impact

추가로 금형의 제작비와 관련하여 핫 러너 시스템에서 밸브 게이트 하나를 줄이므로 핫 러너 시스템의 제작비 및 사출성형에 에너지도 감소하는 이점이 있을 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 프린터 토너 드럼 보호용 커버의 사출성형에서 핫 러너 시스템의 밸브 게이트 개수 변화가 성형성 및 성형품 품질에 미치는 영향을 사출성형해석을 통하여 비교·분석하였다. 결론은 아래와 같다.

1) 밸브 게이트 개수를 2개에서 1개로 줄였을 때, 사출 압력과 형체력이 큰 폭으로 증가했으나, 사출성형기 허용 범위 내에 있어 실제 성형 공정에는 문제가 없었다. 또한 금형 온도와 취출 온도 도달시간은 거의 차이가 없어 생산성 저하 요인은 없었다.

2) 단일 게이트 적용 시 성형품 변형량은 다소 증가했으나 허용 공차 범위 내로 최종 품질에는 큰 영향을 미치지 않았다.

3) 프린터 토너 보호용 커버 금형의 밸브 게이트를 2개에서 1개로 줄이는 설계는 품질과 생산성에 미치는 영향이 제한적이며, 금형 설계, 제작비 및 사출성형 작업 비용을 절감할 수 있다.

Author contributions

S. Y. Han; Project administration, Supervision, Writing-review & editing, Investigation, Formal analysis

References

1. A. Demirer, Y. Soydan and A. O. Kapti, 2007, "An Experimental Investigation of the Effects of Hot Runner System on Injection Moulding Process in Comparison with Conventional Runner System", *Materials and Design*, 28, 1467-1476. (<https://doi.org/10.1016/j.matdes.2006.03.015>)
2. B. Catoen and H. Rees, 2021, "Injection Mold Design Handbook", Hanser, Munchi, 195-196.
3. J. P. Beaumont, 2019, "Runner and Gating Design Handbook," 3rd Edition, Hanser, Munchi, 267-272.
4. P. Xie, F. Guo, Z. Jiao, Y. Ding and W. Yang, 2014, "Effect of Gate Size on the Melt Filling Behavior and Residual Stress of Injection Molded Parts", *Materials & Design*, 53, 366-372. (<https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.06.071>)
5. J. C. Zarges, A. Schlink, F. Lins, J. Essinger, S. Sommer and H. P. Heim, 2023, "Influence of Different Hot Runner-Systems in the Injection Molding Process on the Structural and Mechanical Properties of Regenerated Cellulose Fiber Reinforced Polypropylene", *Polymer*, 15, 1924. (<https://doi.org/10.3390/polym15081924>)
6. S. M. Ha, Y. H. Kim, Y. S. Choi and S. Y. Han, 2024, "Optimization of Injection Molding Conditions for Reducing Deformation of Plastic Console Trays for Automobiles: Application of

- the Taguchi Method”, Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, 23(5), 54-60.
7. J. Y. Chen, K. J. Yang and M. S. Huang, 2020, “Optimization of Clamping Force for Low-Viscosity Polymer Injection Molding”, Polymer Testing, 90, 106700.
(<https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2020.106700>)
8. Woojin Plaimm Co., Ltd., 2025, G5 Series, Catalog 2, 20-21, Korea.
9. J. S. Hong, S. K. Kim and Y .H. Cho, 2020, “Flow and Solidification of Semicrystalline Polymer During Micro-Injection Molding”, International Journal of Heat and Mass Transfer, 153, 119576.
(<https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2020.119576>)
10. N. Y. Zhao, J. Y. Lian, P. F. Wang and Z. B. Xu, 2022, “Recent Progress in Minimizing the Warpage and Shrinkage Deformations by the Optimization of Process Parameters in Plastic Injection Molding: A Review”, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 120, 85-101.
(<https://doi.org/10.1007/s00170-022-08859-0>)