

XVII Konferencja Naukowo-Techniczna

TKI2024

TECHNIKI KOMPUTEROWE W INŻYNIERII

15-18 października 2024

Badania matrycy formy wtryskowej z pęknięcia

Sławomir Duda¹, Grzegorz Gembalczyk¹

¹Katedra Mechaniki Teoretycznej i Stosowanej, Politechnika Śląska
email: Sławomir.Duda@polsl.pl, Grzegorz.Gembalczyk@polsl.pl

STRESZCZENIE: Prezentowane wyniki dotyczyły pracy naukowo-badawczej, której celem była analiza wytrzymałościowa formy wtryskowej z pęknięciem. Partner przemysłowy chciał uzyskać informacje o stanie naprężeń jaki występuje w zmodyfikowanej matrycy podczas pracy maszyny. Wprowadzona modyfikacja matrycy polegała na wykonaniu otworów na końcach pęknięcia, tak aby zapobiec dalszej propagacji uszkodzenia. W niniejszej publikacji omówiono kolejne etapy badań, w których zastosowano zarówno metody numeryczne jak i doświadczalne. Badania tensometryczne wykonane na obiekcie rzeczywistym pozwoliły wyznaczyć stan odkształcenia, naprężenia i ich kierunki główne. Pozyskane dane zostały wykorzystane do walidacji opracowanego modelu numerycznego, co po estymacji parametrów modelu pozwoliło określić stan naprężenia w całej matrycy i oszacować jej trwałość. Ponadto przygotowano model numeryczny formy bez pęknięcia i przeprowadzono serię obliczeń numerycznych, które miały na celu zidentyfikowanie przyczyny powstania pęknięcia. Przeprowadzone badania pozwoliły sformułować wnioski końcowe, w tym metodę doboru grubości płytek ślizgowych w formie, tak aby zminimalizować ryzyko wystąpienia podobnych uszkodzeń w przyszłości.

SŁOWA KLUCZOWE: forma wtryskowa, identyfikacja, badania tensometryczne, wytrzymałość zmęczeniowa

1. Wprowadzenie

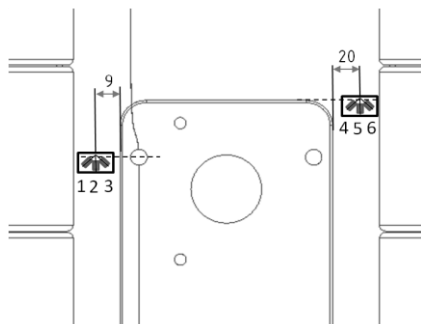
Narzędzia do komputerowego wspomaganie projektowania w znaczny sposób przyspieszyły proces produkcji złożonych układów mechanicznych, umożliwiając już na etapie konstrukcyjnym weryfikację geometrii każdego elementu i analizę kolizji pomiędzy komponentami. Zastosowanie takich narzędzi w znacznym stopniu zwiększa prawdopodobieństwo, że produkt końcowy spełni wszelkie wymagania i będzie działał prawidłowo. W rzeczywistości, ze względu na ograniczone możliwości związane z technologiami wytwarzania, takie czynniki jak np. odchylenia od nominalnych wymiarów mogą mieć wpływ na ostateczny wygląd urządzenia i dokładność jego działania. Błędy w wykonaniu lub wymiarowaniu są szczególnie istotne w przypadku urządzeń z wieloma współdziałającymi ze sobą komponentami. Przykładami takich konstrukcji są między innymi złożone, dzielone formy wtryskowe, które często domykane są za pomocą siłowników generujących bardzo duże obciążenia. W idealnym przypadku, siłownik odpowiedzialny za zamknięcie formy powinien zagwarantować taki docisk, który uniemożliwi jej otwarcie się podczas procesu formowania wtryskowego, równoważąc siłę pochodzącą od uplastycznionego materiału wtryskiwanego pod ciśnieniem. Im większa siła docisku, tym większe naprężenia będą występowały w samej formie. Jest to zatem stan niepożądany, gdyż większe naprężenia negatywnie wpływają na żywotność formy. Należy mieć na względzie, że w przypadku form wtryskowych wytrzymałość zmęczeniowa jest szczególnie istotna, bo z założenia mają one prawidłowo działać przez miliony cykli obciążeniowych. Wiadomo jednak, że form składających się z kilkudziesięciu elementów nie da się

wytworzyć w sposób idealny. Wszelkie odchyłki wymiarowe związane z procesami technologicznymi wpływają na końcową niedokładność geometrii i mogą prowadzić do uszkodzenia poszczególnych elementów formy. Dlatego też określenie rzeczywistego stanu naprężenia formy wtryskowej jest zadaniem trudnym, a same analizy numeryczne (przy wykorzystaniu idealnych modeli geometrycznych przygotowanych przez konstruktorów) mogą być obciążone dużymi błędami. W artykule przedstawiono wyniki obliczeń numerycznych stanu naprężenia formy wtryskowej, w której matryca uległa pęknięciu. W celu naprawy matrycy na końcach pęknięcia wykonane zostały otwory, co stanowiło zabezpieczenie przed dalszą propagacją pęknięcia, ale wpłynęło zarazem na zmniejszenie wytrzymałości matrycy. Opracowane modele numeryczne zostały poddane walidacji, którą przeprowadzono na podstawie wyników badań eksperymentalnych wykonanych z zastosowaniem metody tensometrycznej.

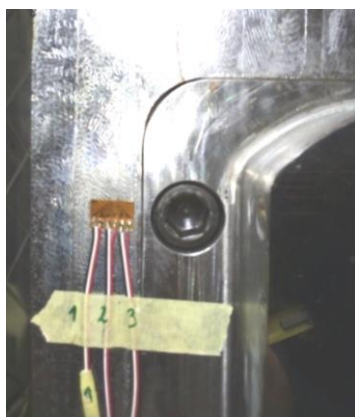
2. Badania eksperymentalne

Przeprowadzone badania tensometryczne miały na celu określenie stanu odkształcenia i naprężenia w wytypowanych punktach matrycy formy wtryskowej, występującego podczas procesu wtrysku na skutek obciążeń eksploatacyjnych. Punkty pomiarowe, w których naklejono tensometry, wybrane zostały na podstawie wstępnych symulacji numerycznych. Uznano, że do badań wykorzystane zostaną dwie rozety składające się z trzech tensometrów. Na podstawie zarejestrowanych danych pomiarowych związanych ze stanem odkształcenia matrycy, znając własności mechaniczne zastosowanych materiałów, obliczone zostały naprężenia główne,

naprężenia zredukowane oraz kierunki odkształceń głównych w punktach pomiarowych. Miejsca naklejenia tensometrów pokazane zostały na rys. 1 i rys. 2. Istotne jest, że konstrukcja formy umożliwiała wyprowadzenie przewodów pomiarowych z formy do rejestratora.



Rys. 1. Zaproponowana lokalizacja rozet tensometrycznych

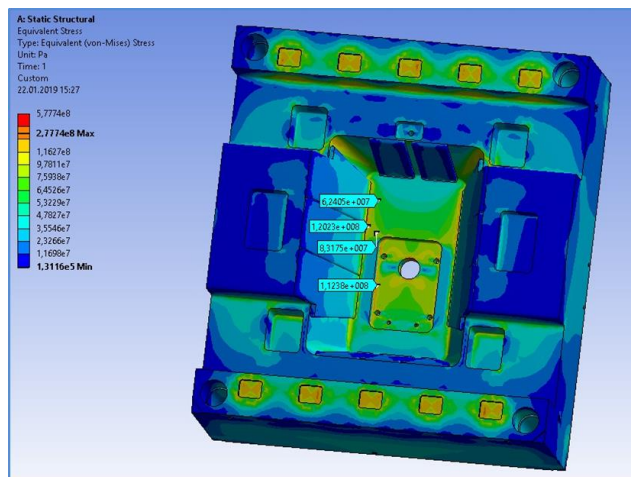


Rys. 2. Rozeta tensometryczna na stanowisku pomiarowym

3. Badania symulacyjne

Stan obciążenia matrycy podczas procesu wtrysku zależy od wielu czynników i jest trudny do wyznaczenia z wykorzystaniem samych tylko obliczeń numerycznych. Jedną ze zmiennych, która istotnie determinuje obciążenia w konstrukcji formy, jest grubość płytek ślizgowych. Płytki te zlokalizowane są wewnątrz matrycy, a połówki formy ślizgają się po nich podczas zamykania. Im większa ich grubość, tym większa siła docisku dzielonych części formy, a zatem i większa siła działająca na matrycę. Grubość tych płytek dobierana jest doświadczalnie podczas testów próbnych. Warunki brzegowe oraz parametry geometryczne w przygotowanym modelu numerycznym dobrano tak, aby wyznaczony stan odkształcenia w punktach pomiarowych (miejscach naklejenia tensometrów) był zbliżony z danymi zarejestrowanymi podczas eksperymentów. W analizie porównawczej uwzględniane były zarówno odkształcenia zredukowane jak też kierunki odkształceń głównych. Przeprowadzona walidacja modelu obliczeniowego na podstawie zmierzonych doświadczalnie wartości stanu odkształcenia i naprężenia matrycy pozwala wnioskować, że symulacje numeryczne dają wiarygodny wgląd w przestrzenny stan naprężenia całej formy (rys.3).

Przeprowadzone obliczenia numeryczne pozwoliły określić stan naprężenia występujący w matrycy formy wtryskowej, która poddana została naprawie. Uzyskane wyniki wykorzystano dalej do oszacowania jej żywotności pod względem wytrzymałości zmęczeniowej.



Rys. 3. Stan naprężenia pękniętej matrycy formy wtryskowej

Dalszy etap prac był próbą zdefiniowania przyczyny powstania pęknięcia. Pod uwagę brano przede wszystkim dwie możliwości – wadę materiałową albo źle dobraną grubość płytek ślizgowych. Obliczenia przeprowadzone dla tego drugiego wariantu pokazały, że maksymalne naprężenia (przekraczające wartość naprężeń dopuszczalnych) występują w obszarze zlokalizowanym blisko przebiegu pęknięcia w obiekcie rzeczywistym, choć nie pokrywają się dokładnie. Wyniki sugerują jednak, że grubość płytek mogła mieć wpływ na wystąpienie pęknięcia. Dlatego też autorzy zaproponowali, aby proces doboru grubości płytek ślizgowych prowadzić z wykorzystaniem pomiarów tensometrycznych.

4. Podsumowanie

Przeprowadzone pomiary doświadczalne i badań numeryczne pozwoliły określić faktyczny stan naprężenia, który występuje w matrycy formy wtryskowej w kolejnych cyklach produkcyjnych. Podczas walidacji modelu numerycznego charakteryzującego się silnie niesymetrycznym stanem naprężenia istotne jest uwzględnienie kierunków odkształceń głównych – weryfikacja dotycząca wyłącznie wartości naprężenia zredukowanego jest niewystarczająca. Zwalidowany model obliczeniowy pozwolił określić stan wyężenia matrycy, oszacować jej żywotność i podjąć próbę zidentyfikowania przyczyny jej pęknięcia.

Literatura

- [1] Fernandes C., Pontes A.J., Viana J.C., Gaspar-Cunha A., *Modeling and Optimization of the Injection-Molding Process: A Review*, Advances in Polymer Technology, Vol. 37(2), pp. 429-449, 2018.
- [2] Fu H., Xu H., Liu Y., Yang Z., Kormakov S., Wu D., Sun J., *Overview of injection molding technology for processing polymers and their composites*. ES Materials & Manufacturing, Vol. 8(20), pp. 3-23, 2020.
- [3] Gembalczyk G., Duda S., Czernecka K., Krawiec K., *Numerical and experimental analysis of the distribution of strains and stresses during the adherence test of the protective coating using the pull-off method*. AIP Conference Proceedings, Vol. 2078, No. 1. 2019.
- [4] Khosravani M. R., Nasiri S., *Injection molding manufacturing process: Review of case-based reasoning applications*, Journal of Intelligent Manufacturing, Vol. 31, pp. 847-864, 2020.
- [5] Kumar S., Park H.S., Lee C.M., *Data-driven smart control of injection molding proces*, CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, Vol. 31, pp. 439-449, 2020.