

Tomasz Rydzkowski^{1,5}, Mieczysław Szczypiński², Kazimierz Reszka³, Iwona Michalska-Požoga¹, Katarzyna Mitura³, Michał Szczypiński², Tomasz Klepka⁴

e-mail: tomasz.rydzkowski@tu.koszalin.pl

¹ Katedra Procesów i Urządzeń, Wydział Mechaniczny, Politechnika Koszalińska, Koszalin

² Przedsiębiorstwo Produkcyjno-Badawcze TECHNIKA Mieczysław Szczypiński, Koszalin

³ Katedra Fizyki Technicznej i Nanotechnologii, Wydział Technologii i Edukacji, Politechnika Koszalińska, Koszalin

⁴ Katedra Procesów Polimerowych, Wydział Mechaniczny, Politechnika Lubelska, Lublin

⁵ Katedra Technologii Materiałów i Maszyn, Wydział Nauk Technicznych, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Olsztyn

Analiza przyczyn uszkodzeń drutu elektrozestancyjnego do cięcia bloków ze spienionego polistyrenu (EPS)

Wstęp

Polistyren PS należy do powszechnie używanych termoplastycznych tworzyw polimerowych. Czysty polistyren jest przezroczysty, łatwo poddaje się kształtowaniu, ma doskonałe właściwości dielektryczne, odznacza się również dużą rozszerzalnością cieplną. Jest relatywnie sztywny i kruchy, wykazuje dużą wrażliwość na działanie promieniowania UV oraz jest łatwopalny. Tworzywo to posiada szerokie zastosowanie, od odpornych na działanie kwasów rur, poprzez części samochodów i AGD, zabawek, opakowań i wyrobów codziennego użytku, po materiały termoizolacyjne powszechnie stosowane w budownictwie mieszkaniowym i przemysłowym. W budownictwie często wykorzystywany jest również do wytwarzania elementów dekoracyjnych, które są stosowane na zewnątrz i wewnątrz budynków. Polistyren w postaci spienionej EPS (*Expanded PolyStyrene*) charakteryzuje się bardzo dobrymi właściwościami termoizolacyjnymi i właśnie w takiej postaci jest najczęściej stosowany w budownictwie [Ekobudowanie, 2016].

Celem pracy jest przedstawienie zagadnień materiałowych, dotyczących drutu elektrozestancyjnego oraz eksploatacji urządzeń do cięcia bloków EPS.

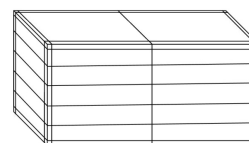
Produkcja i cięcie bloków EPS

EPS powstaje wskutek spieniania granulek PS wypełnionych gazem spieniającym – porofozem, z reguły pentanem lub izopentanem. Po podgrzaniu parą wodną w węźle spieniania granulki polistyrenu rozrastają się do momentu uzyskania zakładanej gęstości. Następnie granulaty zostają wysezonowane i przekazane do systemu formowania. W systemie formowania rozrastające się, plastyczne jeszcze granulki, są ze sobą łączone w odpowiedniej formie. Tak uzyskany materiał, zwykle w postaci bloków złożonych ze zlepionych ze sobą spienionych kuleczek, charakteryzuje się określoną gęstością i porowatą strukturą. Po ustabilizowaniu jest cięty na płyty o odpowiedniej grubości.

Cięcie bloków EPS

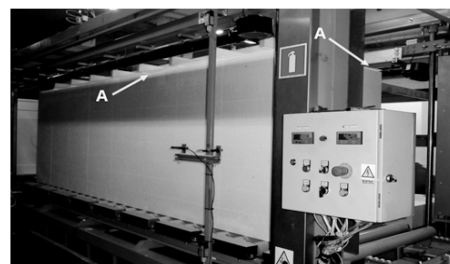
Bloki styropianu EPS często wykonywane są z granulatu z udziałem recyklatu polistyrenowego o odpowiedniej gęstości. Bloki muszą być odpowiednio wysezonowane. Sezonowanie znacznie eliminuje strefy nierównomiernej zawartości wilgoci w bloku oraz zmniejsza naprężenia powstałe na etapie stygnięcia sformowanego polistyrenu. W zależności od potrzeb produkcyjnych, wytwarzane są bloki o różnym składzie i właściwościach (białe – standard palny lub białe – z niepalniaczem, wodoodporne, bądź o lepszych właściwościach termicznych). Bloki różnią się również gęstością i zawartością recyklatu. Gęstość i zawartość recyklatu mają ogromny wpływ na proces formowania i cięcia oraz właściwości mechaniczne otrzymanych płyt lub kształtek [Flizikowski i in., 2012; Ignasiak i in., 2012].

Bloki EPS są cięte na elementy o odpowiednim kształcie i wymiarach (Rys. 1). Najczęściej obróbkę bloków EPS realizuje się na drodze cięcia termicznego za pomocą rozgrzanych drutów oporowych rozpiętych na odpowiednich ramach. Żeby otrzymać płyty styropianowe o innych niż standardowe wymiary, blok przekazywa-



Rys. 1. Blok styropianu EPS z zaznaczonymi liniami cięcia obrysowego i kształtującego płyty (Schemat nie zachowuje proporcji)

ny jest do stanowiska cięcia stacjonarnego, gdzie blok podczas cięcia jest nieruchomy (Rys. 2).



Rys. 2. Blok styropianu EPS podczas obróbki na stanowisku stacjonarnego cięcia, z widocznymi efektami cięcia obrysowego (A) i kształtującego płyty EPS

Standardowe bloki cięte są w układzie potokowym – blok podlega cięciu w trakcie przemieszczania go w kierunku stacji pakowania (Rys. 3).



Rys. 3. Blok styropianu EPS podczas obróbki na stanowisku cięcia potokowego

Na obu liniach jest realizowane cięcie:

- obrysowe – skórowanie, czyli wyrównanie ścian bloku,
- poziome i pionowe – kształtujące płyty.

Kształtki styropianowe o złożonym kształcie wykonywane są poprzez cięcie na ploterze termicznym. Plotery termiczne do cięcia styropianu występują jako urządzenia jedno- i wielodrutowe (Rys. 4). W obu typach zwykle stosuje się jedną grubość drutu elektro-rezystancyjnego.

Z powyższych rozważań wynika, że operacja cięcia bloków EPS ma fundamentalne znaczenie – wpływa zarówno na jakość jak i wydajność cięcia. Spieniony polistyren podczas cięcia termicznego w bezpośrednim otoczeniu drutu oporowego, wskutek wysokiej tem-



Rys. 4. Blok styropianu EPS podczas obróbki na stanowisku cięcia wielodrutowym ploterem termicznym

peratury, nadtopia się i kurczy - ulega *wypaleniu*. W liniach cięcia, w celu przyspieszenia procesu cięcia, zmniejszenia skutków wypalenia drutem materiału polistyrenowego i zmniejszenia zużycia prądu - operatorzy na każdy rodzaj cięcia, każdą inną sekcję linii cięcia zakładają różne średnice drutów oporowych.

Inżynieria i technologia cięcia bloków EPS

Operator dobiera parametry prądowo-napięciowe drutów oporowych użytych do przecinania bloku styropianowego w zależności od używanego rodzaju surowca, jego wilgotności, wysezonowania, rodzaju i ilości użytego recyklatu, jego czystości, prędkości przesuwu ciętego materiału, częstotliwości oscylacji drutów tnących. Część drutu oporowego, nie biorąca udziału w cięciu bloków, nadmiernie się nagrzewa. Aby temu zapobiegać druty oporowe są chłodzone powietrzem z wentylatorów pomocniczych, bądź sprężonym powietrzem.

Bardzo często w dodawanym recyklocie znajdują się różnego rodzaju zanieczyszczenia poprodukcyjne, mineralne bądź organiczne. Mają one kluczowy wpływ na jakość cięcia oraz trwałość drutów oporowych używanych w produkcji [Cueff i in., 2004; Flizikowski i in., 2012]. Drut oporowy w trakcie pracy podlega zużyciu tribologicznemu i korozyjnemu. We wzorcowym cyklu produkcyjnym, na podstawie ustawionych parametrów cięcia i stopnia wysezonowania bloku, można przewidywać orientacyjną trwałość drutu. Z analiz przeprowadzonych w zakładach produkcyjnych wynika, że w rzeczywistych warunkach produkcyjnych (z uwagi na zanieczyszczenia i recyklaty) trwałość drutów nie jest przewidywalna.

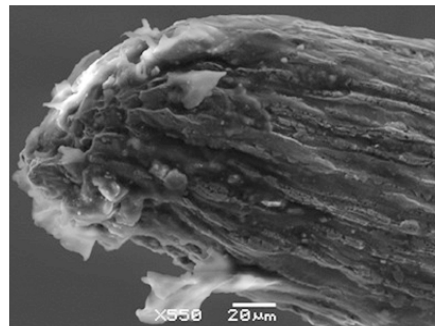
Straty materiałowe podczas cięcia bloków EPS

Jednym z podstawowych problemów jest wspomniane wcześniej wypalenie się styropianu w kontakcie z drutem oporowym, co prowadzi do nadmiernych strat materiałowych. W normalnych warunkach zakłada się, że strefa wypalenia to około 1,2 średnicy drutu. Zauważono, że przy mocno zanieczyszczonym recyklocie i dużej wilgotności bloku następuje wypalenie o wielkości od 2 do 4 średnic drutu. Po pomnożeniu przez liczbę drutów w ramie można wyliczyć straty produkcyjne. Przyjmując, że średnica drutu wynosi 0,5 mm, a strefa wypalenia to 2 mm (średnica drutu x 4), po pomnożeniu przez liczbę 55 drutów w ramie (przy cięciu płyt o grubości 50 mm) obliczona strata przez wypalenie wyniesie 110 mm. W przypadku bloku o szerokości 1280 mm szacunkowe straty wyniosą ponad 8%. Aby podkreślić wagę problemu dokonano dalszych szacunków ekonomicznych. Przy miesięcznej produkcji 20 tys. m³ styropianu straty wyniosą teoretycznie 1600 m³, co przy średniej cenie 100 PLN/m³ EPS szacunkowo spowoduje straty 160 tys. PLN/miesiąc.

Kolejnym problemem jest gromadzenie się nagaru z ciętego polistyrenu w strefie pracy drutu. Ma to miejsce zwłaszcza w sytuacji dużej zawartości recyklatów i źle dobranych parametrach cięcia. Otrzymuje się złą jakościowo strukturę ciętych płaszczyzn. Taki produkt nie spełnia wymagań potencjalnego odbiorcy. Gromadzenie się nagaru powoduje miejscowe przegrzania struktur drutu i jego przyspieszone starzenie. Zużyty drut przed zerwaniem nadmiernie się wyciąga i zaczyna się przemieszczać powodując samoistną zmianę grubości ciętych płyt oraz straty produkcyjne.

Efektywność eksploatacji urządzeń do cięcia bloków EPS

Zerwany drut wymaga niezwłocznej wymiany. Linia produkcyjna musi zostać zatrzymana, a druty wymienione. Według danych szacunkowych wydajność produkcyjna linii spada o ok. 20%. Zwiększenie odpadów produkcyjnych spowodowanych zerwaniem się drutu oporowego powoduje ogromne straty finansowe dla przedsiębiorstwa. Zatem jakość (skład i wykonanie) oraz właściwe warunki pracy drutu oporowego mają kluczowe znaczenie dla właściwego funkcjonowania urządzeń do cięcia bloków EPS.



Rys. 5. Fotografia SEM końcówki zerwanego drutu

Z przeprowadzonych analiz wynika, że proces obróbki plastycznej nie gwarantuje uzyskania dobrej gładkości powierzchni drutu. Istnieje szereg wtrąceń, zawalcowań oraz rys, które w trakcie pracy drutu (podczas nagrzewania) w sposób znaczący wpływają na adhezję styropianu podczas cięcia bloków. Przedstawiona struktura powierzchni ma bezpośredni związek z zachowaniem się drutu podczas pracy. Jak pokazuje analiza zdjęć powierzchni (optyczna i SEM - rys. 5) podczas nagrzewania się drutu oporowego miejscami dochodzi do rozwarstwień, złuszczenia i formowania się szczelin. Następuje wyraźny wzrost rozwinięcia powierzchni, co sprzyja wzrostowi sił tarcia między drutem a styropianem stopionym podczas cięcia. Tarcie to powoduje zwiększenie składowej nacisku bloku EPS na drut, co doprowadza do wzrostu naprężeń wzdłużnych, które sprzyjają rozciąganiu drutu. Suma tych oddziaływań przyczynia się do zerwania drutu.

Wnioski

Dobór właściwego drutu oporowego oraz parametrów jego pracy ma kluczowy wpływ na efektywność działania urządzeń do cięcia bloków z EPS.

Do zjawisk i czynników niekorzystnie wpływających na pracę drutu należą: duża zawartość wilgoci w bloku (zależna od czasu sezonowania), zanieczyszczenia obce w bloku (fragmenty tektury, drewna, folii, piasku, drutu) oraz duża zawartość recyklatu (o zróżnicowanej temperaturze topnienia).

Na podstawie wykonanych badań można stwierdzić (wbrew oczekiwaniom), że zerwanie drutu zwykle nie wynika z przetopienia. Do przerwania dochodzi głównie wskutek rozciągania, któremu towarzyszy silne utlenienie się drutu.

LITERATURA

- Flizikowski J., Bieliński K., Nowicki M., (2012). Research and development of plastic wastes grinding in recycling. *Inż. Ap. Chem.* 51 (5), 216-218
- Ignasiak K., Zagaj I., Ulbrich R., (2012). Zjawisko segregacji materiału dwuskładnikowego w transporcie pneumatycznym. *Inż. Ap. Chem.*, 51(5), 221-223
- Cueff R., Buscail H., Caudron E., Riffard F., Issartel C., El Messki S., (2004). Effect of reactive element oxide coating on the high temperature oxidation behaviour of FeCrAl alloys. *Appl. Surf. Sci.*, 229, 233-241. DOI: 10.1016/j.apsusc.2004.01.072
- Ekobudowanie, (2016). *Właściwości styropianu (EPS) i polistyrenu ekstrudowanego (XPS)*. (05.2016) <http://ekobudowanie.pl/abc-energo-oszczednosci/799-wlasciwosci-styropianu-eps-i-polistyrenu-ekstrudowanego-xpsaction>.