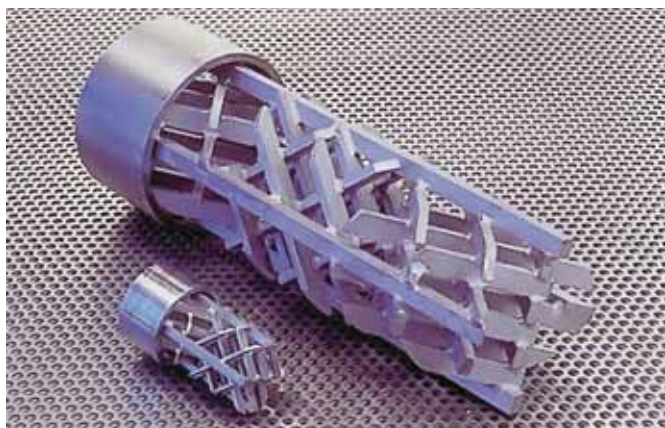


Zastosowanie mieszadeł statycznych w procesach wtrysku i wytłaczania tworzyw sztucznych.

Mieszadła statyczne znajdują coraz szersze zastosowanie w przetwórstwie termoplastów metodami wtrysku i wytłaczania. Najczęściej głowice mieszające stosowane są jako dodatkowy element peryferyjny, stanowiący uzupełnienie układu uplastyczniającego maszyny. Przetwórcy inwestują w zakup mieszadła zwykle w momencie kiedy problemy z homogenizacją tworzywa, (przede wszystkim homogenizacja barwników w barwieniu bezpośrednim), powodują, iż niemożliwe jest uzyskanie poprawnych wyprasek. Problemy homogenizacji stopu tworzywa (w szczególności ujednorodnienie rozkładu temperatury) można najkorzystniej rozwiązać stosując mieszadła statyczne.

Mieszadła przynoszą użytkownikowi nie tylko poprawę jakości uplastycznianego tworzywa i wyprasek, lecz umożliwiają jeszcze równocześnie osiągnięcie znaczących oszczędności. Mniejsze zużycie tworzywa sztucznego lub koncentratu barwiącego, zmniejszenie udziału braków lub skrócenie czasu cyklu skutkują w większości przypadków w bardzo szybkiej amortyzacji inwestycji jaka jest zakup mieszadła. Ponadto te mieszadła statyczne pozwalają rozszerzyć obszar zastosowań maszyn albo nawet przesunąć w czasie inwestycji w nowe maszyny, czego skutkiem są znów oszczędności kosztów. Mieszadło zmniejsza również wpływ odchyleń optymalnych parametrów pracy maszyny na jakość produktów stabilizując w ten sposób cały proces przetwórczy.



Rys.1

1.1 Mieszadło statyczne do wytłaczarki typ SMB-R
1.2 Mieszadło statyczne do wtryskarki typ SMK-R

Problemy z homogenizacją stopu tworzywa.

Idealnie jednorodnie roztopione tworzywo sztuczne to jeden z najważniejszych warunków, aby móc spełnić rosnące wymagania co do jakości wyrobu produkowanego metodą wtrysku lub wytłaczania. W standardowym układzie uplastyczniającym stop tworzywa znajdujący się na czole ślimaka wykazuje duże niejednorodności, np. zróżnicowany rozkład temperatury, nierównomierne rozprowadzenie barwników i dodatków. Może to prowadzić do nierównomiernej grubości ścianki, niedostatecznej stabilności kształtu (paczenie się) i innych wad wyrobu. Smugi, barwne plamy, lokalne przebarwienia lub duże różnice wagi wyprasek są również często skutkiem niejednorodności stopu tworzywa.

Fakt, że jednorodność stopionego tworzywa po opuszczeniu jednostki uplastyczniającej często jest niedostateczna, przestaje dziwić gdy przyjrzymy się bliżej czynnościom procesowym, które ślimak ma jednocześnie wykonywać. Ogólnie rzecz biorąc musi on pobrać materiał w postaci granulatu lub proszku, roztopić, ujednorodnić mechanicznie i termicznie sprężyć go oraz wtrysnąć bądź wytłoczyć. Często następuje jeszcze jednoczesne odgazowanie lub wymieszanie materiałów barwiących oraz dodatków. Na wtryskarkach uplastycznienie odbywa się oprócz tego etapami (czynna długość ślimaka zmniejsza się jeszcze w sposób ciągły w trakcie tego procesu). Ślimak rozwiązuje ogół postawionych mu zadań w sposób optymalny. W przypadku ważnych zadań częściowych – jak np. ujednorodnienie termiczne czy homogenizacja barwnika – nieuniknione jest siłą rzeczy zawieranie kompromisów. Jest to najbardziej widoczne w przypadku ślimaków uniwersalnych stosowanych na wtryskarkach.

W celu lepszego ujednorodnienia roztopionego tworzywa coraz częściej instaluje się mieszadła statyczne w kanale przepływowym między jednostką uplastyczniającą a narzędziem (forma, głowica wytłaczarska). Mieszadła te sprawdziły się w ujednorodnieniu temperatury oraz w poprawie rozkładu pigmentów barwiących i dodatków. Prawidłowo skonstruowane, eliminują one z reguły całkowicie smugi barwne lub powodują uzyskanie regularnej struktury komórek w przypadku produktów spienianych.

Budowa mieszadła statycznego

Budowa mieszadła statycznego firmy Sulzer dostosowana jest do specyficznych wymagań procesów przetwórstwa termoplastów. Mieszadła statyczne typu SMB-R oraz SSM-X stosowane są w wytłaczaniu, SMB-H w wytłaczaniu z rozdmuchem a mieszadła SMK-X, SMK-R oraz kompletne głowice mieszające SIB we wtrysku.

Mieszadła statyczne składają się z tak zwanych elementów mieszających - uzębionych elementów, umieszczonych jeden za drugim, obróconych wobec siebie o 90°. W przypadku mieszadeł SMK-X elementy mieszające spawane są w tuleję, która stanowi obudowę mieszadła. Elementy mieszające mieszadeł SMK-R ustalone i pozycjonowane są za pomocą specjalnych pierścieni dystansowych. Elementy mieszające obydwu wymienionych wcześniej mieszadeł są odlewami staliowymi. Mieszadła serii SMB-R oraz SMB-H są stalowymi elementami spawanymi. W wytłaczarce mieszadła wbudowane są w kanał przepływowy przed głowicą, we wtryskarce - w dyszę.

Solidna konstrukcja oraz zastosowane materiały czynią mieszadła firmy SULZER wyjątkowo trwałymi elementami.

Element mieszający SMK skonstruowany jest w postaci zachodzących na siebie i krzyżujących się żeberek. Powodują one, że przepływające w sposób laminarny roztopione tworzywo dzielone jest ciągle na warstwy, które rozprzestrzeniają się po przekroju rury. Liczba warstw, a tym samym jednorodność, wzrastają szybko wraz



z liczbą elementów mieszających (rys. 2).

Rys. 2 Przekrój przez czterostrefowe mieszadło statyczne. Na przykładzie mieszania dwóch żywic epoksydowych przedstawiono działanie mieszadła statycznego.

Cechy i działanie mieszadeł statycznych

Prędkości i siły ścinania występujące w mieszadle są niewielkie w porównaniu z prędkościami i siłami ścinania w jednostce uplastyczniającej. Wynika z tego, że mieszadło nie nadaje się do mieszania dyspersyjnego lub do rozdzielania aglomeratów ciał stałych (pigmentów barwiących, środków wypełniających, nieroztopionych granulatów), do czego konieczne są stosunkowo duże siły ścinania. Zastosowanie mieszadła ogranicza się do zadań mieszania polegających na równomiernym przestrzennym rozdziale niejednorodności występujących wewnątrz roztopionego tworzywa, tzn. do mieszania rozdzielającego. Typowymi zastosowaniami są więc: ujednorodnienie temperatury, równomierne rozprowadzenie pigmentów barwiących w barwieniu bezpośrednim (masterbatch'em, farbą płynną i barwnikami proszkowymi), dodatków takich jak stabilizatory UV, środki sieciujące lub środki porotwórcze w przypadku spieniania.

Działanie elementów mieszających ilustruje rys.2. Na ilustracji pokazany został przepływ przez cztero-strefowe mieszadło statyczne. Liczba elementów mieszających w mieszadle zależy od stopnia jednorodności stopu tworzywa na wlocie mieszadła oraz wymaganej końcowej homogenizacji stopu. Praktyka wykazała, że w przeważającej większości zastosowań wymagana poprawa jednorodności osiągnięta jest przy zastosowaniu czterech elementów mieszających. Mieszadło takie zmniejsza niejednorodność stopu pięciokrotnie. W przypadku szczególnie trudnych do ujednorodnienia stopów lub w przypadkach wymaganej bardzo wysokiej homogenizacji stopionego tworzywa stosuje się mieszadła o większej ilości stref mieszających n.p. z sześcioma strefami. Wywołany poprzez mieszadło spadek ciśnienia jest jednym z kryteriów doboru mieszadła. Określenie spadku ciśnienia dla założonych warunków procesu (wtrysku, wytłaczania) pozwala na optymalny dobór średnicy mieszadła statycznego, które zostanie zastosowane na konkretnej maszynie. Do wyliczenia spadku ciśnienia (oprócz wydajności przepływu) konieczna jest znajomość lepkości (krzywa płynięcia, wskaźnik płynięcia) tworzywa.

Typowe wartości spadku ciśnienia na czole ślimaka to 40 do 60 bar dla mieszadła SMB-R przy wytłaczaniu a dla mieszadła SMK- X w formowaniu wtryskowym 100 do 200 bar (odpowiada ok. 10 do 20 bar ciśnienia oleju w układzie hydraulicznym maszyny). Z takimi wartościami spadku ciśnienia maszyny z reguły dają sobie radę bez problemu.

Zabudowa i wymiary mieszadeł statycznych.

W przypadku wytłaczarek mieszadła statyczne zabudowywane są w specjalnym kołnierzu bezpośrednio przed głowicą wytłaczarską (rys.3). W przypadku wtrysku mieszadła zabudowywane są



Rys. 3 Zabudowa mieszadła do wytłaczarki



Rys. 4 Zabudowa mieszadła w dyszy wtryskarki

w specjalnie do tego celu zaprojektowanej dyszy wtryskarki (rys. 4). Istnieje możliwość zakupu samego mieszadła i wykonania dyszy w własnym zakresie lub zakupu kompletnej głowicy mieszającej (SIB) przystosowanej do montażu na konkretnym typie wtryskarki. W zależności od średnicy układu uplastyczniającego i warunków procesu we wtrysku mamy do dyspozycji mieszadła statyczne o średnicach wewnętrznych elementów mieszających wynoszących od 10 do 65mm, podczas gdy w wytłaczaniu zastosowanie znajdują mieszadła o średnicach wewnętrznych od 17 do 200 mm. Standardowe mieszadła statyczne z czterema elementami mieszającymi SMK posiadają stosunek długości do średnicy $L / D = 4$. Średnica mieszadła statycznego we wtryskarce stanowi z reguły od 0,2 do 0,5 średnicy ślimaka maszyny, średnica mieszadła przy wytłaczaniu to 0,5 do 1 średnicy ślimaka wytłaczarki.

Niektórzy producenci wtryskarek i wytłaczarek montują mieszadła statyczne w swoich maszynach jako element wyposażenia standardowego. Prostota zabudowy mieszadeł pozwala na łatwą adaptację w maszynie nie wyposażonej standardowo w mieszadło, celem ulepszenia istniejącego systemu. W ten sposób wydajność ujednorodniania stopu tworzywa – przede wszystkim również w przypadku starszych maszyn - można szybko i niedrogo dostosować do wymaganych warunków, bez konieczności zmiany lub wymiany jednostki uplastyczniającej.

Dzięki geometrii elementów mieszających czas przebywania tworzywa w mieszadle jest krótki. Wynikają z tego bardzo dobre własności samoczyszczące mieszadła. W przypadku zmiany tworzywa lub koloru kompletna wymiana tworzywa w mieszadle następuje w stosunkowo krótkim czasie (po przetrzygnięciu ok. dwóch objętości mieszadła).

Zarówno w procesie wtrysku jak i wytłaczania przy zastosowaniu mieszadeł statycznych można bez problemów przetwarzać praktycznie wszystkie termoplasty (np. LDPE, LLDPE, HDPE, PP, PS (przezroczysty lub wysoko udurowy), ABS, POM, PMMA, PEPT, PA 6). Opisane powyżej typy mieszadeł nie nadają się do przetwórstwa PVC. Do wytłaczania PVC firma Sulzer opracowała specjalne mieszadła.



Rys.5. Mieszadło Polyguard przeznaczone do wytłaczania PVC.

dło typu Polyguard, które dostępne jest w średnicach od 40 do 65mm (rys. 5)

Przykłady stosowania mieszadeł statycznych w wytłaczaniu

W zakładzie produkcyjnym taśmy z PP, HDPE i mieszanek PE zainstalowano mieszadła serii SSM- X 60 w wytłaczarkach do produkcji zarówno folii metodą rozdmuchu jak i folii płaskich (wydajność produkcji 110 kg/h). W ten sposób uzyskano idealny rozkład barwników i poprawiono gładkość powierzchni folii. Dzięki ujednorodnieniu stopu tworzywa do materiału podstawowego można było domieszać do 30% regranulatu, bez ujemnego wpływu na jakość (wytrzymałość mechaniczną) wytłaczanych taśm. Ilość przerw w pracy zmniejszyła się mimo stosowania tańszych tworzyw. Możliwe stało się ustabilizowanie warunków procesu przetwórstwa.

W produkcji folii kształtowanych na gorąco (folie do termoformowania), bezpośrednio przetwarzanych dalej w technologii Inline, stawiane są szczególnie wysokie wymagania co do jednorodności stopu i równomierności wymiarowej wyrobu. Aby spełnić te wymagania i równocześnie zwiększyć wydajność produkcji, w ciągu wytaczarskim zastosowano dodatkowo pompy tworzywa (system Expac firmy Maag AG, Zurych). Aby termicznie ujednorodnić roztopione tworzywo bezpośredni przed narzędziem umieszczono dodatkowe mieszadło SSM- X 115, które wyrównując różnicę temperatur w strumieniu stopu tworzywa wyeliminowało wahania grubości folii prostopadle do kierunku przepływu (rys. 6).



Rys. 6 Dodatkowa strefa układu uplastyczniającego wytłaczarki

o wydajności do 600kg/h (HIPS). W kołnierzu widocznym na zdjęciu zamontowane zostało mieszadło statyczne SSM-X 115 (Bellaplast AG, Altstätten, Szwajcaria)

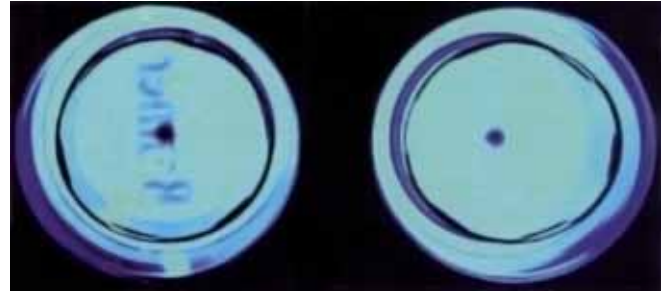
Jednocześnie udało się zmniejszyć średnią grubość folii o ok. 5%. Oprócz tego, w tej linii wytłaczarskiej, producent dodaje do tworzywa podstawowego od 25% regeneratu nie pogarszając jakości wyrobu. Optymalny rozkład barwników, mniejszy udział braków, bezproblemowy rozruch procesu oraz rzadsze przerwy w pracy i mniej prac z precyzyjnym ustawieniem parametrów wytłaczarki i narzędzia to dalsze cechy uwieńczonych sukcesem instalacji mieszadeł statycznych w tej linii wytaczarskiej (wydajność linii wynosi do 400 kg/h PS, PP i PE).

Również w innych przypadkach sprawdził się wspólny montaż mieszadeł i układu pomp w linii wytaczarskiej celem zwiększenia wydajności produkcji przy jednoczesnej poprawie jakości wyrobu.

Wskutek niejednorodności rozkładu temperatury w stopie tworzywa, rury z LDPE wykazywały od strony wewnętrznej powierzchni znaczne nierówności. Zastosowanie mieszadeł pozwoliło poprawić jakość powierzchni. Jednocześnie stwierdzono, że parametry robocze wytłaczarki z zainstalowanym mieszadłem mogły się wahać w szerszym zakresie bez ujemnego wpływu na jakość rur.

Przykłady stosowania mieszadeł statycznych we wtrysku.

Na wtryskarce o średnicy ślimaka 35mm wytwarzano w formie wielogniazdowej przykrywkę do stoików do kawy. Detale wtryskiwane



Rys. 7 Porównanie stopnia wybarwienia detali wtryskiwanych bez mieszadła statycznego (po prawej) przy zastosowaniu mieszadła (po lewej).

były z PS, masa wypraski wynosiła od 8g. Tworzywo barwione było bezpośrednio w maszynie na kolor czerwony lub złoty (rys. 7).

Przed zastosowaniem mieszadła statycznego wypraski wykazywały wyraźne niejednorodności zabarwienia (smugi).

Zamontowanie w dyszy wtryskarki mieszadła statycznego SMK- X 10/6 firmy Sulzer pozwoliło całkowicie usunąć niejednorodności w wybarwieniu wyrobu i zarazem zmniejszyć zużycie koncentratu barwiącego o 35%.

Włoska wtryskownia wytwarza abażury z PC zabarwione na różowo. Wymaganej równomiernej przejrzystości wypraski nie osiągnięto mimo zastosowania specjalnego ślimaka ze strefami mieszającymi - udział braków produkcyjnych nadal był wysoki. Instalacja mieszadła statycznego SMK- X 17 spowodowała poprawę homogenizacji stopu tworzywa i w efekcie pozwoliła na uzyskanie wypraski o wymaganej jakości.

W fabryce obuwia sportowego zabarwione części butów narciarskich (przetwarzane materiały: termoplastyczny PU, PA) posiadały smugi barwne i w skutek tego musiały zostać uznane za wybrakowane. Wypraski o wadze wytrysku ok. 1,5 kg wytwarzane były na wtryskarce o średnicy ślimaka 85 mm. Zastosowanie mieszadła statycznego SMK- R 30 pozwoliło rozwiązać problem jednorodności barwnika ku pełnej satysfakcji klienta. W efekcie znacznej poprawy jakości wyrobów klient postanowił wyposażyć w mieszadła statyczne wszystkie wtryskarki w swojej firmie..

Z rekomendacji dostawcy tworzywa we wtryskowni wykonującej z termoplastycznego PU odpowiedzialne wypraski techniczne dla przemysłu samochodowego we wtryskarkach zainstalowano mieszadło statyczne SMK- R 17 w maszynie o średnicy ślimaka 55 mm. W produkcji wyprasek ważących 320 g osiągnięto w ten sposób poprawę.

W wypraskach przezroczystych prawie całkowicie wyeliminowano smugi płynięcia. W przypadku zabarwionych uzyskano do 40% oszczędności masterbatch'a a także jednorodny rozkład barwników przy jednocześnie lepszej jakości powierzchni oraz o ok. 20% wyższą wytrzymałość wypraski (na skutek termicznej homogenizacji stopu tworzywa).

Przetwórstwo PP na maszynach ze ślimakami uniwersalnymi daje w wielu przypadkach niedostateczną jakość wyprasek. W celu poprawy jakości wyrobów często stosuje się specjalne układy uplastyczniające, wyposażone w dodatkowe strefy mieszające. Jak wykazują doświadczenia firmy Sulzer również na maszynach z ślimakami uniwersalnymi można bez problemów wtryskiwać wypraski bezbłędnej jakości, o ile w dyszy maszyny zostanie zamontowane mieszadło statyczne. Jego montaż jest możliwy nie tylko



w dyszach otwartych, lecz również w dyszach z zamknięciem iglicowym (rys. 8).

Rys. 8 Dysza zamykana igłą (wyprodukowana przez firmę Brenex) z wbudowanym mieszadłem statycznym SMK-X 17.

Korzyści wynikające z zastosowania mieszadła statycznego

Budowa mieszadeł statycznych firmy SULZER pozwala na poprawę sprawności mieszania i uplastyczniania i wynikającej z tego efektywności całego procesu wtryskiwania lub wytłaczania.

Poniżej opisane zostały w skrócie najważniejsze korzyści wynikające z używania mieszadeł statycznych.

1. Wysokie zużycie masterbatch'a, z którym boryka się wiele przedsiębiorców wynika najczęściej z faktu, że ślimak wtryskarki nie jest w stanie zapewnić jednorodności wymieszania tworzywa i barwników. Budowa elementów mieszających mieszadła statycznego, daje efekt bardzo dokładnego wymieszania masterbatch'a i jego równomiernego rozkładu. Zastosowanie mieszadeł statycznych firmy SULZER prowadzi do oszczędności 20- 40% masterbatch'a , których następstwem jest redukcja kosztów produkcji.
2. Zmiana koloru oraz czyszczenie układu uplastyczniającego są kolejnymi problemami technologicznymi, z którymi wiążą się kosztowne, przymusowe przerwy w produkcji. Przepływ strumieniowy, który ma miejsce w układzie uplastyczniającym powoduje nierównomierny rozkład prędkości w przekroju poprzecznym- z największą prędkością mamy do czynienia w osi ślimaka. Kolejne elementy mieszające dzielą strugę tworzywa na wiele innych strumieni- zgodnie z szeregiem potęgowym. Wyrównanie rozkładu prędkości strugi, które wynika z zastosowania mieszadła statycznego podnosi sprawność i skraca czas procesu układu uplastyczniającego oraz wymiany barwnika. Wymiernymi efektami są w tym przypadku oszczędność czasu i nakładów finansowych.
3. Podczas zmiany kolorów wraz z wpływem nowego tworzywa pojawia się strumień tworzywa używanego wcześniej. Wynikające z powodu przebarwień opady zwiększają koszty produkcji . Wprowadzenie do układu uplastyczniającego mieszadeł statycznych pozwala na dokładne wymieszanie starego koloru z nowym. Pojawiają się tak znikome przebarwienia, że pozwalają one zaakceptować wypraski.
4. Zapewnienie jednorodnego rozkładu temperatury w układzie uplastyczniającym jest jednym z kryteriów jego sprawności. Szczególnie trudności w osiągnięciu równomiernego rozkładu temperatury wiążą się z przetwórstwem tworzyw o dużej lepkości. Zastosowanie mieszadeł statycznych pozwala na ustalenie stabilnego rozkładu temperatury uplastycznianego tworzywa także przy przetwórstwie tworzyw wymagających stosowania wysokich temperatur, skracając jednocześnie czas mieszania.
5. Użycie mieszadeł statycznych do przetwórstwa tworzyw sztucznych napełnianych np. włóknem szklanym poprawia właściwości mechaniczne wyprasek. W przypadku przetwórstwa tworzyw napełnianych układ uplastyczniający nie jest w stanie równomiernie rozprzewodzić napełniacza w mieszance. Mieszadła statyczne firmy SULZER redukują siły ścinające pro-

wadzące do skracania włókien napełniacza i zapewnia ją jednorodny rozkład włókien w matrycy polimerowej podnosząc w rezultacie wytrzymałość mechaniczną wyprasek. Elementy mieszające mieszadła statycznego wykonane są z odpowiedniego stopu. Dzięki temu charakteryzuje je wysoka odporność na zużycie charakterystyczne dla przetwórstwa tworzyw napełnianych.

6. Dodawanie regranulatów do czystego tworzywa powoduje trudność w uzyskaniu jednorodnej mieszanki. Regranulat charakteryzuje się znacznymi różnicami wymiarów ziaren różniących się przy tym także od wymiarów ziaren materiału pierwotnego. Regranulat cechuje również odmienna lepkość i inne właściwości przetwórcze niż materiał oryginalny. Bardzo dokładne mieszanie wymuszane przez elementy mieszające mieszadła statycznego minimalizuje różnice przetwórcze regranulatu i czystego tworzywa.
7. Dzięki swej konstrukcji mieszadło statyczne w nieznaczny tylko sposób powoduje spadek ciśnienia wtryskiwanego tworzywa. Dobór mieszadła statycznego po części odbywa się na zasadzie określenia spadku ciśnienia i wyboru mieszadła, użycie którego wywoła spadek ciśnienia w dopuszczalnym zakresie.
8. Dzięki zapewnieniu wysokiego poziomu wymieszania tworzywa, kontroli temperatury i lepkości stopu tworzywa mieszadło statyczne staje się elementem decydującym o jakości wyrobu i całego procesu wtryskiwania.
9. Głównym zadaniem mieszadła statycznego jest ujednorodnienie stopu tworzywa pod względem lepkości i rozkładu temperatury. Zapewnienie właściwych cech frontowi wtryskiwanego tworzywa pozwala na ograniczenie powstawania linii łączenia wynikających z geometrii wypraski co ma wpływ zarówno na walory estetyczne wypraski jak i właściwości mechaniczne.

Istotą stosowania mieszadeł statycznych jest przewyższenie głównych problemów związanych z wtryskiwaniem lub wytłaczaniem. Swojej efektywności w tej dziedzinie dowiodło ponad 5500 mieszadeł statycznych używanych na całym świecie. Mieszadła statyczne zapewniają nie tylko widoczną poprawę jakości wyrobów, ale także pozwalają osiągnąć znaczne oszczędności, zmniejszając zużycie tworzywa i barwników, skracając czas mieszania, zmniejszają ilość odpadów produkcyjnych, pozwalają na szybki zwrot kosztów inwestycji. Zastosowanie mieszadła statycznego podnosi efektywność procesu i redukuje wpływ odchyień stanu maszyn i procesu na jakość wyprasek. Czas zwrotu kosztów inwestycyjnych (zakup mieszadła) wynikający na przykład z redukcji zużycia masterbatch'a może być bardzo krótki. Według danych wielu przedsiębiorstw zastosowanie mieszadeł statycznych pozwala na duże oszczędności, ponieważ znaczny procent odpadów produkcyjnych wynika z niejednorodności stopu. Zapewnienie wymaganej jakości wyrobów, powtarzalności produkcji przy jednoczesnym ograniczeniu kosztów (zużycie materiału, kontrola jakości) to najważniejsze korzyści wynikające ze stosowania mieszadeł statycznych firmy SULZER.