Review Article

Polymerization
Quarterly, 2024
Volume 14, Number 2
Pages 41-48
ISSN: 2252-0449

Introduction of Pearlescent Pigments and Methods of Making Masterbatches, Formulation and Processing of Pearlescent Masterbatches

Armin Rashidi* and Ismail Ghasemi

Department of Plastic Processing and Engineering, Iran Polymer and Petrochemical Institute,

P.O. Box 14965-115, Tehran, Iran

Received: 1 March 2023, Accepted: 22 January 2024

Abstract

Pearlescent pigments are a special kind of natural or synthetic materials that are divided into two categories without a substrate (bismuth oxychloride, iron mica oxide, and titanium dioxide sheets) and a coated substrate (natural mica coated with metal oxides such as titanium dioxide, iron oxide, and aluminum oxide). Pearlescent pigments due to their special properties such as creating different colors by changing the angle of view, high heat resistance, high resistance to penetration, and brilliance are used in the form of pearlescent masterbatches in various industries such as plastic and packaging, cosmetics, automotive, textile, etc. Today, the use of masterbatches is increasing due to various reasons such as improving the dispersion and distribution of particles, excellent product quality, reducing the production costs, the health issues of employees, etc. Masterbatches are concentrated compounds that are added to polymers to make and improve color properties, as well as reduce the production cost. Masterbatch consists of three components: polymer, pigment or filler, and compatibilizing agent. Among the various methods of making masterbatches, the most common method is use of twin screw extruders. In general, 3 methods of pre-mixing, divided feeding, and color matching are used to make masterbatch with an extruder. The aim of this article is to investigate pearlescent pigments, general methods of making plastic and pearlescent masterbatches, and their applications in various industries.

Key Words

**masterbatch,
composite,
pearlescent pigment,
extruder,
melt mixing**

(*) To whom correspondence should be addressed.
E-mail: a.rashidi@ippi.ac.ir

مقاله مروری

بسپارش
فصلنامه علمی
سال چهاردهم، شماره ۲،
صفحه ۴۸-۴۱، ۱۴۰۳
ISSN: 2252-0449

معرفی رنگ‌دانه‌های صدفی و روش‌های ساخت، فرمول‌بندی و فراوری مستربچ‌های آن

آرمین رشیدی*، اسماعیل قاسمی
تهران، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، پژوهشکده فرایند پلیمرها، گروه پلاستیک،
صندوق پستی ۱۱۵-۱۴۹۶۵

دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۱۰، پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۲

چکیده

رنگ‌دانه‌های صدفی، گونه خاصی از مواد طبیعی یا سنتزی هستند که به دو دسته بی‌بستر (بیسموت اکسی‌کلرید، آهن اکسید میکایی و تیتانیم دی‌اکسید ورقه‌ای) و با بستر پوشش‌یافته (میکای طبیعی پوشش‌یافته با اکسید فلزات نظیر تیتانیم دی‌اکسید، آهن اکسید و آلومینیم اکسید) تقسیم می‌شوند. از رنگ‌دانه‌های صدفی به‌دلیل خواص ویژه آن‌ها نظیر ایجاد فام‌های مختلف با تغییر زاویه دید، مقاومت گرمایی زیاد، مقاومت زیاد دربرابر نفوذپذیری و درخشندگی به‌صورت مستربچ در صنایع مختلف نظیر پلاستیک و بسته‌بندی، آرایشی و بهداشتی، خودروسازی، نساجی و غیره استفاده می‌شود. امروزه کاربرد مستربچ‌ها به‌دلایل مختلف نظیر بهبود پراکنش و توزیع ذرات، کیفیت عالی محصولات، کاهش هزینه‌های مصرفی، حفظ سلامت کارکنان و غیره رو به افزایش است. مستربچ‌ها ترکیبات غلیظی هستند که برای ساخت و بهبود خواص رنگ و همین‌طور کاهش قیمت تمام‌شده محصولات در هنگام تولید به پلیمرها اضافه می‌شوند. مستربچ از سه جزء پلیمر، رنگ‌دانه یا پرکننده و عامل سازگارکننده تشکیل می‌شود. از میان روش‌های ساخت مستربچ‌ها، رایج‌ترین روش استفاده از اکسترودرهای دوپیچی است. به‌طور کلی، برای ساخت مستربچ با اکسترودر از ۳ روش پیش‌اختلاط، تغذیه مجزا و رنگ‌همانندی استفاده می‌شود. هدف از مقاله حاضر، بررسی رنگ‌دانه‌های صدفی، روش‌های کلی ساخت مستربچ‌های پلاستیکی و صدفی و کاربردهای آن‌ها در صنایع مختلف است.

آرمین رشیدی

اسماعیل قاسمی

واژگان کلیدی

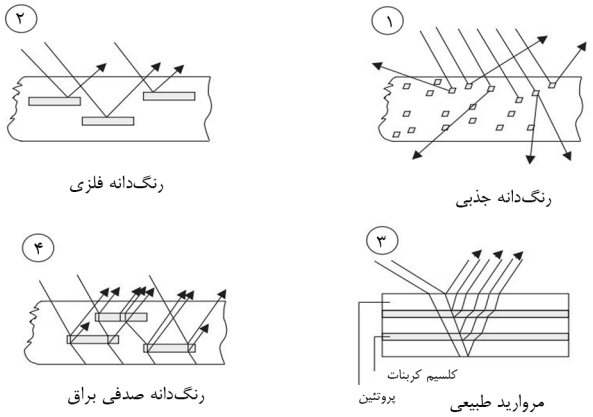
مستربچ،
کامپوزیت،
رنگ‌دانه صدفی،
اکسترودر،
اختلاط مذاب

* مسئول مکاتبات، پیام‌نگار:
a.rashidi@ippi.ac.ir

مقدمه

رنگ‌دانه‌های صدفی و تداخلی از مهم‌ترین انواع رنگ‌دانه‌های جلوه ویژه هستند که برپایه مواد طبیعی یا سنتزی ساخته می‌شوند. آن‌ها درخشندگی، براقیت و جلوه‌های رنگین‌کمانی باکیفیت را براساس پراکندگی و بازتاب نور بر چند لایه نشان می‌دهند. به‌طور کلی، رنگ‌دانه‌های فلزی و صدفی رفتارهای نوری متفاوتی دارند. رنگ‌دانه‌های فلزی صفحه‌ای نظیر آلومینیم مانند آینه کوچکی عمل کرده و بیشتر نور تابیده را بازتاب می‌کنند. اما رنگ‌دانه‌های صدفی، شامل لایه‌های شفاف متناوب با ضریب‌های شکست متفاوت هستند که یا نور از آن‌ها عبور می‌کند یا به‌شکل بلورهای صفحه‌ای جاذب نورند (شکل ۱) [٤-۱].

رنگ‌دانه‌های صدفی برای اولین بار در سال ۱٦٥٦ کشف شد. در آن زمان یک تسبیح‌ساز فرانسوی رنگ‌دانه‌های صدفی را به‌صورت تعلیق ابریشمی از فلس‌های ماهی جدا کرد و از آن دانه‌های صدفی مصنوعی ساخت. ۲۵۰ سال بعد، ماده صدفی گوانین جدا و اثر صدفی کشف شد. از سال ۱۹۲۰ به بعد هیدروکسیدها، کربنات‌ها، فسفات‌ها، روی، سرب و سایر کاتیون‌ها برای این اثر ساخته شد. تقاضای رنگ‌دانه‌های صدفی در صنعت‌های در حال توسعه نظیر پلاستیک و پوشش بسیار زیاد بود. موفقیت در ساخت رنگ‌دانه‌های صدفی با اختراع میکا با پوشش اکسیدهای فلزی به‌وجود آمد. اکنون رنگ‌دانه‌های صدفی برپایه میکا بیش از ۹۰٪ بازار جهانی را تشکیل می‌دهند. رنگ‌دانه‌های صدفی اثرهای صدفی‌شکل، رنگین‌کمانی و فلزی دارند. آن‌ها در رنگ‌های شفاف باعث تشکیل فام‌های متفاوت می‌شوند که با تغییر زاویه دید، رنگ پوشش تغییر می‌کند [٦-۱]. خواص و کاربردهای



شکل ۱- خواص نوری رنگ‌دانه‌های جذبی، فلزی و مروارید طبیعی [۱،۲].

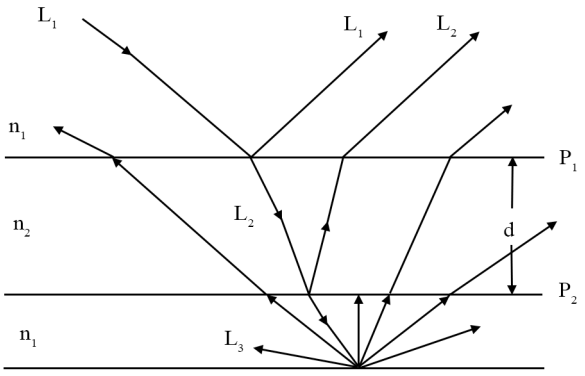
رنگ‌دانه‌های صدفی در جدول ۱ درج شده است.

اصول نوری رنگ‌دانه‌های صدفی و تداخلی

اصول نوری رنگ‌دانه‌های صدفی و تداخلی در شکل ۲ نشان داده شده است. p_1 سطح مشترک بین دو ماده با ضریب شکست n_1 و n_2، L_1 بخشی از نور بازتابی و L_1' بخشی از نور عبوری است. نسبت شدت‌ها وابسته به مقدار n_1 و n_2 است. هر سطح مشترک، بازتاب جزئی دارد و پس از نفوذ نور از چند لایه با توجه به اندازه و تفاوت میان n_1 و n_2 عملاً بازتاب کامل به‌دست می‌آید، مشروط بر اینکه مواد به اندازه کافی شفاف باشند. برای پرک‌های کوچک با ضخامت حدود ۱۰۰ nm، قوانین فیزیکی لایه‌های نازک، جامد و نوری صادق است. بازتاب‌های چندگانه از نور روی فیلم نازک

جدول ۱- خواص و کاربردهای رنگ‌دانه‌های صدفی [۱].

رنگ‌دانه صدفی	مزایا	معایب	کاربرد عمده
ماهی نقره‌ای طبیعی	چگالی بسیار کم، درخشندگی زیاد، غیرسمی و مقاوم دربرابر نور	قیمت زیاد، پشت‌پوشی ضعیف و دسترسی محدود	لاک‌های ناخن
سرب کربنات بازی	درخشندگی بسیار زیاد، پشت‌پوشی خوب، قیمت کم و مقاوم دربرابر نور	چگالی زیاد، پایداری شیمیایی و گرمایی محدود و سمی	دکمه‌ها و جواهرات
بیسموت اکسی‌کلرید	درخشندگی بسیار زیاد، پشت‌پوشی خوب و غیرسمی	چگالی زیاد و پایداری نوری محدود	دکمه‌ها، جواهرات و مواد آرایشی تزئینی
میکا-تیتانیم دی‌اکسید	درخشندگی زیاد، پشت‌پوشی خوب، غیرسمی، پایداری شیمیایی، گرمایی و مکانیکی، قیمت و چگالی کم	درخشندگی کمتر از سرب کربنات بازی و بیسموت اکسی‌کلرید	پلاستیک، لاک، جوهر چاپ، مواد آرایشی و محصولات سرامیکی



شکل ۲- پرتوی نور فرودی از یک محیط نوری (L_1') با ضریب شکست n_1، لایه‌ای با ضخامت d با ضریب شکست n_2، L_1' و L_2' بازتاب منظم از مرزهای فاز P_1 و P_2 و L_3 بازتاب‌های پراکنده منتشرشده نور عبوری را نشان می‌دهد [۱،۲].

جامد با ضریب شکست زیاد باعث اثر تداخلی در نورهای بازتابی می‌شود. اثر تداخل، زمانی گسترش می‌یابد که فاصله لایه‌ها و نیز ضخامت آن‌ها دارای مقدار مناسبی باشد. اندازه رنگ‌دانه‌های معمولی کمتر از ۱ µm بوده، اما قطر رنگ‌دانه‌های صدفی ۱ µm تا ۲۰۰ µm است.

رنگ‌دانه‌های صدفی به دو دسته صدفی بی‌بستر و صدفی با بستر پوشش‌یافته تقسیم می‌شوند. رنگ‌دانه‌های صدفی بی‌بستر شامل رنگ‌دانه‌های طبیعی، سرب کربنات بازی، بیسموت اکسی کلرید، آهن اکسید میکایی و تیتانیم دی‌اکسید ورقه‌ای هستند. رنگ‌دانه صدفی با بستر پوشش‌یافته شامل میکای طبیعی است که روی آن پوششی از اکسید فلزات نظیر تیتانیم دی‌اکسید، آهن اکسید، آلومینیم اکسید و غیره اعمال می‌شود. میکا از نظر شیمیایی خنثی است و از بوروسیلیکات‌ها (پرک‌های شیشه)، پرک‌های آلومینیمی و سیلیس نیز به‌عنوان بستر استفاده می‌شود (شکل ۳).

برای پوشش‌دهی میکا با تیتانیم دی‌اکسید در تعلیق آبی از دو روش زیر استفاده می‌شود:

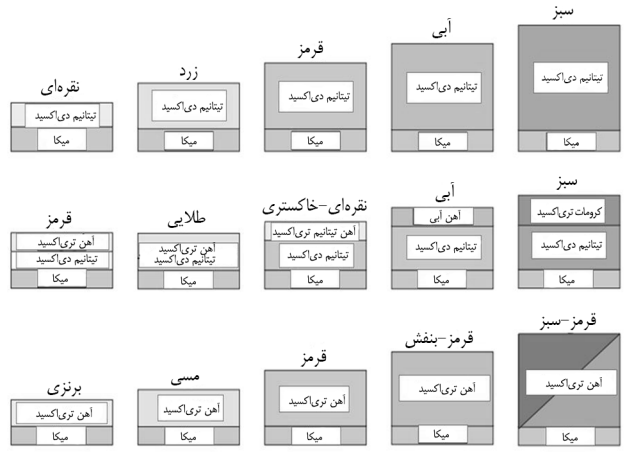
۱- آب‌کافت همگن

$$TiOSO_4 + Mica + H_2O \xrightarrow{100\ ^\circ C} TiO_2\text{-}Mica + H_2SO_4 \quad (۱)$$

۲- تیترکردن

$$TiOCl_2 + 2NaOH + Mica \longrightarrow TiO_2\text{-}Mica + 2NaCl + H_2O \quad (۲)$$

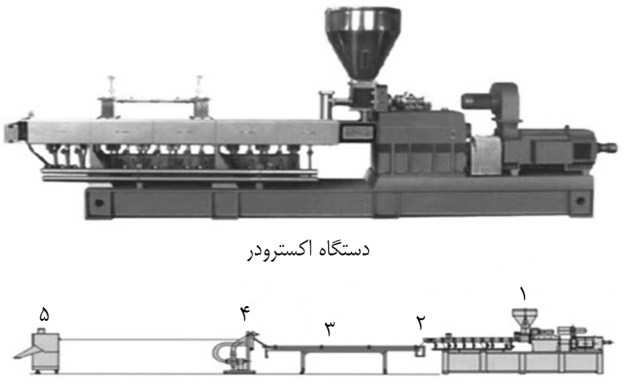
برای پوشش‌دهی میکا با آهن اکسید از روش زیر استفاده می‌شود:



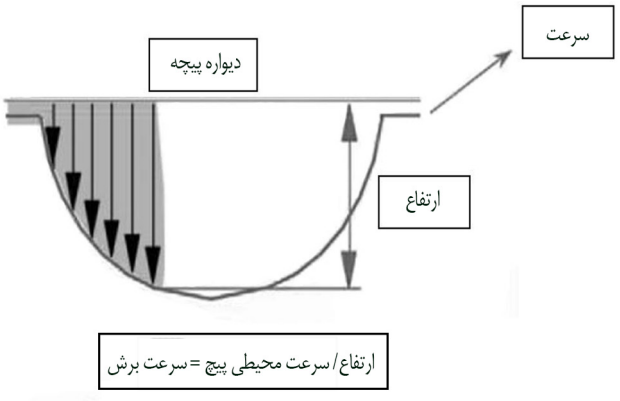
شکل ۳- انواع فام‌های مختلف رنگ‌دانه‌های صدفی میکای پوشش‌یافته با اکسید فلزات [۱].

$$3FeCl_3 + Mica + 3H_2O \longrightarrow Fe_2O_3\text{-}Mica + 6\ HCL \quad (۳)$$

مستربچ‌ها ترکیباتی با غلظت زیاد هستند که برای ساخت رنگ، بهبود خواص و همچنین کاهش قیمت تمام‌شده محصولات پلیمری به‌کار برده می‌شوند. استفاده از مستربچ، مزایای فراوانی دارد که باعث شده است تا تولیدکنندگان استفاده از این محصول را به سایر شکل‌های مواد پلیمری ترجیح دهند. مستربچ، از سه جزء پلیمر (پلی‌اتیلن، پلی‌پروپیلن و غیره)، مواد افزودنی رنگ‌دانه یا پرکننده (تیتانیم دی‌اکسید، کلسیم کربنات و غیره) و عامل سازگارکننده (مالئیک انیدرید پیوندیافته روی پلیمر، سیلان و غیره) تشکیل می‌شود که درنهایت به‌شکل جامد یا مایع است (معمولاً به‌صورت جامد و فاقد حلال هستند). ساخت مستربچ به‌دلیل استفاده از مقدار نسبتاً زیاد مواد (۱۵٪ تا ۸۰٪ وزنی رنگ‌دانه-افزودنی) با چالش‌های زیادی همراه است. پلیمر پایه استفاده‌شده در ساخت



شکل ٤- خط کامل تولید مستربچ: (۱) قیف دستگاه، (۲) قالب، (۳) مخزن آب، (٤) خشک‌کن و (۵) خردکن [۱۱].



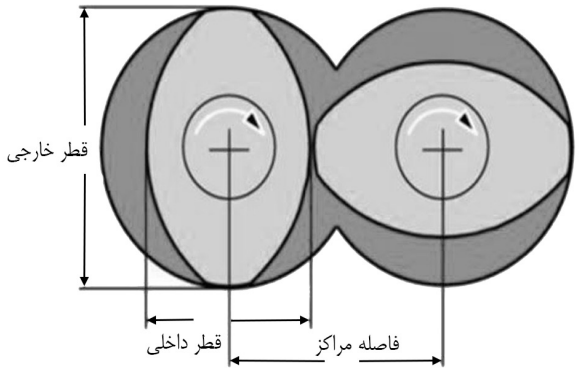
شکل ۵- سرعت برش [۱۳].

مستربچ معمولاً از نوع پلی‌اتیلن، اتیلن وینیل استات و موم بوده که با بسیاری از پلیمرها سازگار است. برای پراکنش مناسب رنگ‌دانه، گران‌روی پلیمر پایه (پلیمر استفاده‌شده برای ساخت مستربچ) باید برابر یا کمتر از گران‌روی پلیمری باشد که مستربچ به آن افزوده می‌شود [۱۰-۷].

برای تولید مستربچ معمولاً از اکسترودرهای دوپیچی استفاده می‌شود. استفاده از اکسترودر یکی از متداول‌ترین و مقرون به‌صرفه‌ترین روش‌های شکل‌دهی پلیمرهاست. مواد اولیه پلیمری از طریق قیف درون دستگاه ریخته می‌شود و پس از ذوب با اعمال فشار از درون قالب دستگاه عبور می‌کند. سپس، در حمام آب یا مجاورت هوا با گذشت زمان سرد شده و شکل قالب را می‌گیرند. در فرایند تولید مستربچ، مواد به‌شکل رشته‌ای از قالب خارج شده و سپس این رشته‌ها وارد تانک آب می‌شوند تا خنک شوند. در ادامه، مواد برای آب‌گیری از خشک‌کن عبور داده می‌شود و درنهایت پس از ورود به دانه‌ساز، به‌شکل دانه خرد می‌شوند (شکل ٤) [۱۳-۱۱].

تولید مستربچ با اکسترودرهای دوپیچی همسوگرد

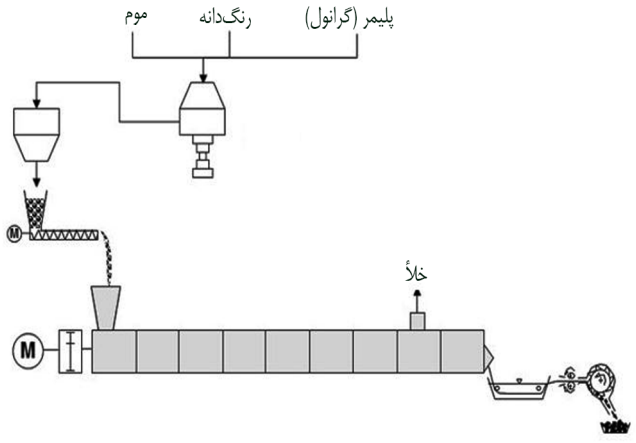
قرارگیری رنگ‌دانه در ماتریس پلیمری، پراکندگی نامیده می‌شود که شامل ۳ مرحله متوالی خیس‌شدن، بازشدن و پراکنش است. به‌طور کلی، مستربچ شامل پلیمر و عامل پراکنش است. خیس‌شدن رنگ‌دانه‌ها با استفاده از عامل پراکنش مانند موم (پلیمرهایی با وزن مولکولی کم) انجام می‌شود. موم به‌حالت مذاب در اکسترودر بین رنگ‌دانه‌ها نفوذ می‌کند و خیس‌شدن اتفاق می‌افتد. این کار خطر کلوخه‌شدن رنگ‌دانه‌ها و عدم بازشدن آن‌ها را کاهش می‌دهد. تنش برشی (τ) روی رنگ‌دانه‌ها ناشی از گران‌روی (η) و سرعت برش (λ) است. سرعت برش از تقسیم‌کردن سرعت محیطی پیچ نسبت به دیواره پیچ بر حداکثر میزان پرشدگی کانال‌های پیچ به‌دست می‌آید (شکل ۵) [۱۳،۱٤].



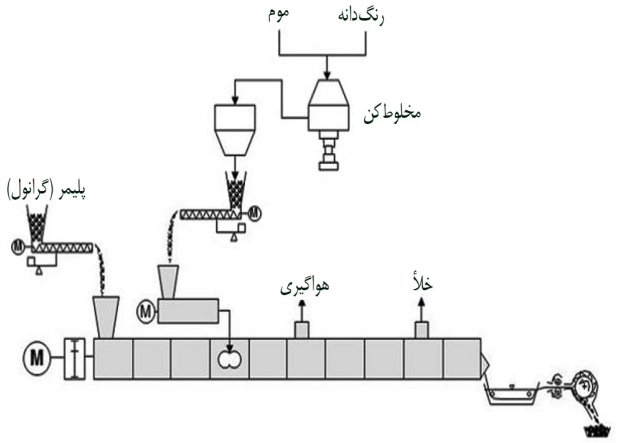
شکل ٦- نسبت قطرها در اکسترودرهای دوپیچی [۱۳].

هرقدر عمق کانال پیچ کمتر باشد، تنش برشی بیشتری به مذاب پلیمری وارد شده و پراکندگی رنگ‌دانه‌ها یا پرکننده‌ها در ماتریس پلیمری بیشتر می‌شود، به‌عبارتی گران‌روی کاهش می‌یابد. از طرفی، حجم انتقال کم و خروجی مواد از اکسترودر کمتر می‌شود، یعنی توان عملیاتی کاهش می‌یابد. در سال ۱۹۸۳، اکسترودرهای دوپیچی توسط شرکت Coperion Werner & Pfleidere ساخته شد که با مدل‌های محاسباتی، نسبت بهینه قطر خارجی به قطر داخلی ۱/۵۵ درنظرگرفته شد. امروزه اکسترودرهای دوپیچی همسوگرد مدل ZSK MEGA با همان نسبت بهینه قطر خارجی به قطر داخلی ۱/۵۵ ساخته شده‌اند (شکل ٦) [۱۳،۱٤].

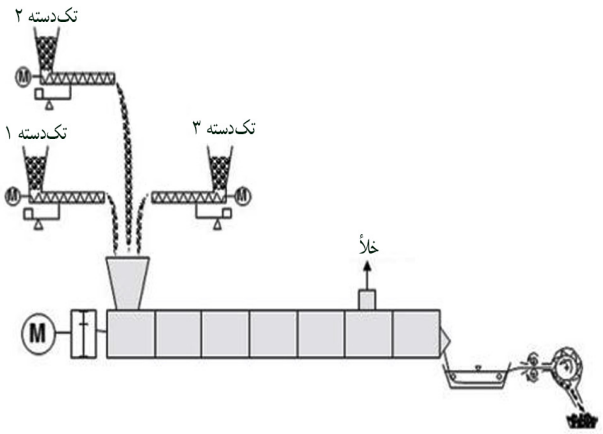
اکسترودرهای دوپیچی، افزون بر اینکه قابلیت اختلاط مناسب دارند، دارای خاصیت خودتمیزشوندگی نیز هستند. این ویژگی سبب می‌شود، محصول با سرعت زیاد و در طیف‌های رنگی مختلف (۱۵ رنگ در یک روز) تولید شود [۱۳]. برای ساخت مستربچ از روش‌های پیش‌اختلاط، تغذیه مجزا و تطبیق رنگ استفاده می‌شود. در روش پیش‌اختلاط همه مواد (پلیمر، رنگ‌دانه و



شکل ۷- روش پیش‌اختلاط برای تولید مستربچ [۱٤].



شکل ۸- روش تغذیه مجزا در تولید مستربچ [۱٤].



شکل ۹- روش تطبیق رنگ در تولید مستربچ [۱۲].

عامل پراکنش) ابتدا درون مخلوط‌کن ریخته می‌شوند. پس از انجام اختلاط یا افزایش توزیع رنگ‌دانه در پلیمرها در حالت پودری، مواد درون قیف اکسترودر دوپیچی ریخته می‌شوند و مستربچ مدنظر ساخته می‌شود (شکل ۷) [۷]. اکسترودرهای استفاده‌شده در این روش معمولاً نسبت طول به قطر ۳٦ تا ٤٤ دارند و دارای ۲ یا ۳ ناحیه همگن‌سازی، اختلاط و ذوب هستند. معمولاً توان عملیاتی در این روش بین ۱۰ kg/h تا ۵۰۰ kg/h است [۱٤،۱۵].

پلیمر در روش تغذیه مجزا از یک قیف جدا درون اکسترودر ریخته شده و مواد افزودنی (رنگ‌دانه و عامل پراکنش) از طریق قیف مجزای دیگری به مذاب پلیمر درون اکسترودر افزوده می‌شود. بدین ترتیب، مستربچ مدنظر ساخته می‌شود (شکل ۸) [۱٤]. در این روش، نسبت طول به قطر پیچ معمولاً ٤۰ تا ٤۸ بوده و معمولاً توان عملیاتی ۵۰۰ kg/h تا ۵۰۰۰ kg/h است [۱٤،۱٦].

در روش تطبیق رنگ، مستربچ‌های مختلف که دارای یک نوع رنگ‌دانه هستند درون قیف اکسترودر ریخته می‌شوند (شکل ۹) [۱٤]. اکسترودرهای دوپیچی استفاده‌شده در این روش معمولاً نسبت طول به قطر ۲۸ تا ۳۲ دارند و توان عملیاتی معمول در این روش ۱۰۰ kg/h تا ۱۰۰۰ kg/h است [۱۲].

در حال حاضر، استفاده از مستربچ‌ها به‌دلیل کاربری آسان، افزایش کیفیت محصول، حفظ سلامت کارکنان، تکرارپذیری فرایند، کاهش هزینه‌های تولید و غیره به‌شدت گسترش پیدا کرده است [۱٤،۱۷،۱۸]. مستربچ‌های صدفی باعث ایجاد ظاهر خاص و درخشان در محصولات پلاستیکی مختلف و مقاومت مناسب آن‌ها دربرابر شرایط دمایی و جوی می‌شوند. از کاربردهای آن‌ها می‌توان به استفاده در صنایع بسته‌بندی (امکان چاپ لیزری بر محصولات پلاستیکی)، نساجی، خودروسازی و محصولات آرایشی-بهداشتی اشاره کرد [۲۳-۱۹، ۹ ،۷].

فرمول‌بندی

مقدار رنگ‌دانه استفاده‌شده برای ساخت مستربچ و مقدار مستربچ به‌کار برده‌شده برای ساخت قطعه مدنظر در جدول ۲ آورده شده است [۲٤]. Charles و همکاران، مستربچ‌های کروی‌شکلی را ساختند که شامل ٦۰٪ تا ۸۰٪ وزنی رنگ‌دانه صدفی، ۱٤٪ تا ۳۸٪ وزنی موم و ۲٪ تا ٦٪ وزنی مواد سطح‌فعال بود. بهبود جریان‌پذیری و درنتیجه افزایش توان تولید مستربچ در اکسترودر (کاهش زمان تولید) از مزایای مستربچ ساخته‌شده بود.

شرکت Engelhard رنگ دانه‌های‌صدفی MAGNAPEARL® 1000، MAGNAPEARL® 1100 و MAGNAPEARL®2100 شامل درصدهای مختلف میکا، قلع اکسید، تیتانیم دی‌اکسید، موم و مواد سطح‌فعال را به‌طور تجاری عرضه کرد. موم شامل گروه‌های قطبی و پراکنده است که بهبود جریان‌پذیری رنگ‌دانه صدفی استفاده می‌شود. گروه‌های قطبی شامل گروه‌های عاملی حاوی اکسیژن، آمین یا اسید هستند. گروه‌های پراکنده شامل هیدروکربن‌های خطی یا شاخه‌دار، هیدروکربن‌های اشباع یا غیراشباع و هیدروکربن‌های هالوژن‌دار هستند. گروه‌های پراکنده حاوی پیوندهای سیگما هستند که امکان چرخش را فراهم می‌کنند. بنابراین، جذب الکتروستاتیکی گروه قطبی را به رنگ‌دانه صدفی آسان می‌کند. درواقع، موم نوعی هیدروکربن، هیدروکربن اشباع یا پلی‌اولفین اکسیدشده و ترجیحاً پلی‌اتیلن اکسیدشده است.

موم‌های پلی‌اولفینی اکسیژن‌دار شامل پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن هستند. مواد سطح‌فعال دارای بخش‌های قطبی و غیرقطبی هستند. بخش قطبی شامل الکل اتوکسیل‌دار و بخش پراکنده غیرقطبی شامل هیدروکربن است. بخش قطبی مواد سطح‌فعال به بخش قطبی تیتانیم رنگ‌دانه صدفی متصل می‌شود. بخش پراکنده غیرقطبی امکان پراکنش آسان مواد سطح‌فعال را در پلی‌اولفین فراهم می‌کند.

جدول ۲- مشخصات فنی مستربچ سفید WMB [۲۴].

کد مستربچ	مقدار رنگ‌دانه صدفی در مستربچ (wt٪)	مشخصات	کاربرد و درصد وزنی (٪)	مزایا
WMB 136	۵۵±۲	مستربچ سفید حامل: پلی‌استیرن و جزء فعال: تیتانیم دی‌اکسید اصلاح‌شده (روتایل)	قالب‌گیری تزریقی S/ABS: ۱٪ تا ۳٪ و اکسترودکردن ورقه‌ای پلی‌استیرن، ۰/۵٪ تا ۳٪	جریان‌پذیری و فرایندپذیری زیاد، پشت‌پوشی زیاد، بدون پرکننده، رنگ سفید درخشان، سازگاری مناسب با PS و ABS
WMB 122 PT	۳۲±۲	مستربچ سفید حامل: پلی‌اولفین و جزء فعال: تیتانیم دی‌اکسید اصلاح‌شده (روتایل)	قالب‌گیری تزریقی PE، ۱٪ تا ۵٪ بطری، مخزن و طبل پلی‌اتیلنی، ۱٪ تا ۵٪	جریان‌پذیری و فرایندپذیری زیاد، پشت‌پوشی مناسب، بدون پرکننده و رنگ سفید
WMB 127M	۷۰±۲	مستربچ سفید حامل: پلی‌اولفین جزء فعال: تیتانیم دی‌اکسید اصلاح‌شده (روتایل)	فیلم PE ، ۱٪ تا ۷٪ قالب‌گیری تزریقی PE و PP، ۱٪ تا ۲٪ ورقه PP و PE، ۱٪ تا ۳٪	پراکنش خوب و پشت‌پوشی عالی

از آنجا که بخش قطبی رنگ‌دانه صدفی به بخش قطبی مواد سطح‌فعال متصل است، امکان اختلاط راحت‌تر با پلی‌اولفین را فراهم می‌کند. مواد سطح‌فعال مخلوطی از الکل‌های اتوکسیل‌دار نوع دوم دارای ۱۲ تا ۱۴ اتم کربن و پلی(اکسی ۱،۲-اتانادیل) هستند که میانگین عددی وزن مولکولی آن‌ها از ۸۰۰ تا ۱۳۰۰ متغیر است.

روش ساخت

امولسیون و رنگ‌دانه در مخزنی با اختلاط برشی کم با نسبت وزنی ۱/۸ به ۱ امولسیون به رنگ‌دانه ترکیب شده و به آن آب یون‌زدوده برای دستیابی به گران‌روی مناسب افزوده می‌شود. اختلاط به‌آهستگی با سرعت برش نسبتاً کم برای جلوگیری از ایجاد حباب در ترکیب گران‌رو انجام می‌شود. ترکیب حاصل از طریق دستگاه ذره‌ساز به خشک‌کن افشانه‌ای در دمای ورودی بین ۲۰۰ °C تا ۳۶۰ °C و دمای خروجی ۸۸ °C انتقال داده می‌شود که پس از خشک‌شدن، حدود ۷۰٪ وزنی آن رنگ‌دانه صدفی است. ترکیب کروی‌شکل به‌دست‌آمده با گران‌روی کم سبب بهبود جریان‌پذیری پلیمر درون اکسترودر و نیز افزایش مواد خروجی از آن می‌شود که برای بیشتر پلیمرهای بی‌شکل و بلوری قابل استفاده است.

برای تهیه مستربچ‌های صدفی پلی‌اتیلن کم‌چگالی به همراه رنگ‌دانه درون دستگاه مخلوط‌کن پرتابه‌ای ریخته می‌شود و هم‌زدن برای مدت مشخص در دمای ۱۴۹ °C تا حدود ۱۸۷ °C ادامه می‌یابد. ترکیب حاصل پس از تخلیه و خنک‌شدن به مکعب‌هایی در ابعاد حدود ۱ in تبدیل می‌شود. قطعات بزرگ در دستگاه گرانول‌ساز خرد می‌شوند. در نوع دیگری از کوپلیمر اتیلن- آکریلیک اسید به همراه رنگ‌دانه در دستگاه مخلوط‌کن پرتابه‌ای استفاده می‌شود. پس از اختلاط با سرعت هم‌زدن ۲۰۰ rpm در دمای ۸۸ °C تا ۱۰۶ °C، ترکیب شکننده‌ای حاصل می‌شود که نیازی به خردشدن پیش از دانه‌بندی ندارد [۲۵،۲۶].

نتیجه‌گیری

رنگ‌دانه‌های صدفی موادی با خواص صدفی، رنگین‌کمانی (تغییر رنگ پوشش با تغییر زاویه دید) و اثر فلزی هستند که در رنگ‌های شفاف باعث تشکیل فام‌های متفاوت می‌شوند. مستربچ‌ها ترکیبات غلیظی هستند که برای ساخت رنگ، بهبود خواص و همچنین کاهش قیمت تمام‌شده محصولات به پلیمرها افزوده می‌شوند. مستربچ از سه جزء پلیمر (پلی‌اتیلن، پلی‌پروپیلن و غیره)، رنگ‌دانه یا پرکننده (تیتانیم دی‌اکسید، کلسیم کربنات و غیره) و عامل سازگارکننده (مالئیک انیدرید پیوندیافته روی پلیمر، سیلان و غیره) تشکیل می‌شود. استفاده از مستربچ در صنعت پلاستیک مزایای فراوانی دارد که می‌توان به سهولت استفاده، حمل‌ونقل ساده، کاهش قیمت در اثر کاهش مقدار رنگ‌دانه مصرفی و بهبود کیفیت محصول اشاره کرد. چنین مزیت‌هایی باعث شده است تا تولیدکنندگان، استفاده از این محصول را به سایر شکل‌های مواد پلیمری ترجیح دهند. مستربچ‌های صدفی دارای خواص مناسبی نظیر ظاهر خاص و درخشان برای محصولات پلاستیکی مختلف، مقاومت گرمایی و جوی مناسب (مقاومت دربرابر نور فرابنفش) و غیره هستند.

به‌طور کلی، برای ساخت مستربچ از درصدهای وزنی متفاوت رنگ‌دانه‌ها (تقریباً ٪۳۰ تا ٪۸۰ وزنی برای بیشتر مستربچ‌ها و بیش از ٪۶۵ برای مستربچ‌های صدفی) استفاده می‌شود. برای ساخت مستربچ از خشک‌کن افشانه‌ای، مخلوط‌کن داخلی (پرتابه‌ای) و اکسترودرهای دوپیچی (رایج‌ترین روش) استفاده می‌شود. ساخت مستربچ با اکسترودرهای دوپیچی شامل مراحل تعیین فرمول‌بندی، خوراک‌دهی، اختلاط در اکسترودر، خنک‌کردن رشته‌های خروجی از اکسترودر، خردکردن و درنهایت الک‌کردن گرانول‌های تولیدشده است. معمولاً برای ساخت قطعه نهایی از ٪۱ تا ٪۵ وزنی مستربچ استفاده می‌شود.

مراجع

1. Faulkner E.B. and Schwartz R.J., *High Performance Pigments*, John Wiley and Sons, USA, 77-85, 2009.
2. Pfaff G., *Special Effect Pigments, Technical Basics and Applications*, Vincentz Network, Germany, 44-49, 2008.
3. Charvat R.A., *Coloring of Plastics, Fundamentals*, John Wiley and Sons, USA, 226-242, 2005.
4. Tolinski M., *Additives for Polyolefins, Getting the Most Out of Polypropylene, Polyethylene and TPO*, William Andrew, USA, 97-101, 2015.
5. Cheraghipoor M. and Zakeri M., Incorporation of Metal Oxide on Mica Flakes as a Green Pearlescent Pigment, Preparation and Analysis, *Iran J. Chem. Eng.*, **17**, 34-43, 2020.
6. Hosseini- Zori M., Particle Size and Kind of Mica in Synthesis of Nontoxic Bronze and Gold Pearlescent Pigments Based on Nano encapsulated Hematite, *Adv. Mater. Res. Switz.*, **48**, 101-112, 2015.
7. Kutz M., Processing and Materials, *Applied Plastics Engineering Handbook*, William Andrew, USA, 193-205, 2011.
8. Whelan A. and Whelan T., *Polymer Technology Dictionary*, Springer, Netherland, 88-148, 1994.
9. https://busscorp.com/industries/masterbatch, available in 8 March 2023.
10. Chafidz A., Ali M.A.H., and Elleithy R., Morphological, Thermal, Rheological, and Mechanical Properties of Polypropylene-Nanoclay Composites Prepared from Masterbatch in a Twin Screw Extruder, *Mater. Sci. Forum.*, **46**, 6075-6086, 2011.
11. https://moeinpolymer.com, available in 2 March 2023.
12. DeArmitt C. and Rothon R., Particulate Fillers, Selection and Use in Polymer Composites*, Encyclopedia of Polymers and Composites,* Springer, Berlin, 1-19, 2015.
13. Weinmann M., Masterbatch Production on Co-rotating Twin Screw Extruders, *Plastics*, *Plast. Addit. Compd.*, **9**, 36-39, 2007.
14. Kohlgruber K., *Co-Rotating Twin-Screw Extruders, Fundamentals, Technology, and Applications*, Carl Hanser Verlag, Gemany, 73-78, 2008.
15. Tu W.D., Ingram A., and Seville J., Regime Map Development for Continuous Twin Screw Granulation, *Chem. Eng. Sci.*, **87**, 315-326, 2013.
16. Manas-Zloczower I., *Mixing and Compounding of Polymers, Theory and Practice*, Carl Hanser Verlag, Germany, 389- 406, 2012.
17. Markarian J., Back-to-Basics: Adding Colour to Plastics, *Plast. Addit. Compd.*, **11**, 12-15, 2009.
18. Seem T.C., Rowson N.A., Ingram A., Huang Z., Yu S., de Matas M. et al., Twin Screw Granulation- A Literature Review, *Powder Technol.*, **276**, 89-102, 2015.
19. Zhao P., Ouyang Y., Xu M., Yang L., and Ren Y., Applied Sciences in Graphic Communication and Packaging, *Conference of the International Circle of Educational Institutes for Graphic Arts Technology and Management*, Beijing, China, 747-810, 14-16 May, 2018.
20. Wong A.Y., Ng N.S.K., and Ng V.L.F., Colouring of Moulded Plastic Products by the Addition of Colour Masterbatches, *J. Mater. Proc. Technol.*, **63**, 468- 471, 1997.
21. Maile F.J., Pfaff G., and Reynders P., Effect Pigments—Past, Present and Future, *Prog. Org. Coat.*, **54**, 150-163, 2005.
22. Gilbert M., *Brydson's Plastics Materials*, Butterworth-Heinemann, Oxford (UK), 59-73, 2017.
23. Pfaff G., *Color Measurement-Metal Effect Pigments*, De Gruyter, Germany, 100-180, 2022.
24. http://www.pooya polymer tehran.com, available in 20 March 2023.
25. Charles J.W., Masterbatch Precursor, *US Pat. 10,995,756,* 2005.
26. Charles J.W., Colored Masterbatch Precursor, *US Pat. 11,467,034,* 2007.