



Stefano S (wall87)

IL ROTOSTAMPAGGIO

27 February 2017

Premessa

Il presente articolo vuole offrire una panoramica della tecnica del rotostampaggio. Descrive il processo produttivo, i materiali utilizzati e le loro proprietà, e fornisce delle caratteristiche costruttive che devono essere prese in considerazione nella fase di progettazione di parti plastiche che si intendono stampare con il metodo rotazionale.

Introduzione e cenni storici

La formatura rotazionale, detta anche rotoformatura, è un processo di lavorazione di materiali termoplastici che consente di ottenere corpi cavi d'ogni dimensione e forma. Si tratta di una tecnologia di trasformazione che si differenzia rispetto ai più diffusi procedimenti di stampaggio ad iniezione, soffiaggio, etc. risultando particolarmente indicata per la produzione in piccola serie di articoli anche complessi di oggetti di varie dimensioni e di articoli internamente vuoti che non è possibile ottenere altrimenti.

La prima notizia di una tecnica assimilabile a questo processo risalirebbe addirittura alla fine del XVIII secolo, quando venne presentata a Dresda una relazione tecnica che descriveva un nuovo procedimento per fabbricare oggetti cavi in ceramica, fondato sulla rotazione dello stampo intorno a due assi ortogonali.

Negli anni 20 del secolo scorso, in Olanda, il metodo era utilizzato per produrre cioccolatini cavi, ma bisogna attendere gli anni 40 per vedere le prime applicazioni nel campo dei polimeri con l'uso del PVC che per parecchio tempo è rimasto l'unico materiale disponibile.

Negli anni 60 la situazione cambia con l'introduzione del polietilene a bassa e alta densità (LDPE e HDPE) che ha permesso la fabbricazione di pezzi non realizzabili in PVC; la successiva diffusione del polietilene reticolato (anni 70) ha reso possibile la produzione di grandi contenitori (tipicamente serbatoi).

Gli anni 80 infine hanno visto l'utilizzo di nuove resine permettendo di estendere i campi di applicazione del processo che, come avviene per la termoformatura, è caratterizzato da interesse crescente, considerati i suoi vantaggi, soprattutto economici, rispetto ad altre tecniche.

Applicazioni

Trova applicazione nei settori medicale, beni di consumo, utensili per agricoltura e giardinaggio, componentistica per automotive e trasporti, giocattoli, imbarcazioni da diporto, attrezzatura sportiva, arredamento, articoli per la movimentazioni materiali, e prodotti ad alto contenuto estetico per i punti vendita. Il processo è particolarmente adatto per la fabbricazione di parti cave a pezzo unico o di serbatoi aperti a parete doppia. Ma lavorazioni complementari, come la scissione del pezzo o il ritaglio di pannelli, consentono di ottenere qualsiasi tipo di prodotto o serbatoio aperto a parete singola. Le parti che devono essere rimosse possono essere schermate dal calore durante lo stampaggio in modo da minimizzare lo sfrido e gli scarti a seguito delle operazioni di taglio/sbavatura.

Di seguito una tabella dove sono riportati alcuni tipi di articoli rotostampati:

Serbatoi

Fosse settiche
Cisterne petrolio
Vasche depurazione acque

Serbatoi di stoccaggio di sostanze chimiche
Serbatoi carburante
Serbatoi per spedizioni

Trasporti

Poggia gomiti
Segnaletica/barriere stradali
Serbatoi carburante
Bull-bar
Unità di alloggiamento apparecchiature audio
Convogliatori d'aria e altri particolari sottocofano
Deflettori, prese d'aria, parafanghi e frontali di veicoli industriali

Pannelli strumentazione
Condotti
Arco giro ruota
Veicoli destinati alla mobilità delle persone disabili
Carrelli supermarket
Braccioli e scocche di sedili
Parti di carrozzeria di derivati, camper, autolettighe, ecc

Container

Container per spedizioni riutilizzabili
Container per trasporto liquidi o materiale sfuso (IBC)
Barili

Contenitori per piante
Container per linee aeree
Container refrigerati

Giocattoli e tempo libero

Case giocattolo
Palle
Giocattoli da cavalcare/ guidare
Scivoli e giochi di grandi dimensioni per comunità

Arredi esterni
Cavalli a dondolo
Teste e parti del corpo per bambole
Elementi vari per giostre

Movimentazione materiali

Bancali
Pattumiere
Siletti e cisternette telaio, pallettizzabili e

Cassette per trasporto pesce
Imballaggi
Carrelli ribaltabili e casse pallettizzate per

sovrapponibili	prodotti sfusi
Imballi con espanso per oggetti fragili o pericolosi	Contenitori cilindrici graduati
Nautica	
Galleggianti banchina	Imbarcazioni/barche da diporto
Rivestimento piscina	Kayak
Parabordi ormeggio	Cinture di salvataggio
Derive e catamarani	Tavole a vela
Pontili, collari galleggianti, zattere	Elementi componibili per cabine da spiaggia
Prodotti medicali	
Maschere facciali ossigeno	Barelle
Cassette di pronto soccorso per personale paramedico	Cassette per campioni medicali
Prodotti industriali	
Lucidatrici pavimenti	Alloggiamenti ventole
Unità di filtrazione acqua	Unità per il riciclaggio
Rulli portacavi a grande diametro	Casse per accumulatori elettrici
Cofanature protettive per organi di trasmissione	Barili rotanti di grande volume per industrie conciarie
Contenitori di cucina di tintoria tessile	Scocche di poltrone e divani
Altro	
Coperchi di tombino	Cassette attrezzi
Alloggiamenti per pulitrici	Poltrone studi dentistici
Pubblicità punti vendita	Attrezzatura per agricoltura/giardinaggio

Nella maggior parte dei casi, questi articoli si distinguono per finiture di alta qualità e tolleranze minime. Un aspetto chiave di questi articoli consiste nel fatto che sono tutte geometrie tridimensionali complesse, e sono tutte fatte in un unico pezzo. L'inserzione di espanso è molto comune nei pezzi rotostampati ed ha lo scopo di fornire isolamento termico o aumentare la rigidità senza penalizzazione di peso.

Ecco alcuni esempi di articoli:



1.jpg



2.jpg



3.jpg



4.jpg



5.jpg



6.jpg



7.jpg

Caratteristiche dello stampaggio rotazionale

Lo stampaggio rotazionale è un processo a pressione atmosferica che permette di produrre pezzi essenzialmente liberi da tensioni. Il fatto che il materiale fuso non sia soggetto a tensioni mentre assume la sua forma finale costituisce uno dei maggiori vantaggi dello stampaggio rotazionale rispetto ad altri metodi di fabbricazione di pezzi plastici. Inoltre, non essendoci forze agenti sulla plastica fusa durante la formatura, gli stampi rotazionali possono avere pareti sottili ed essere fabbricati a costi relativamente contenuti. Le macchine più moderne, con configurazioni a più bracci, permettono di operare simultaneamente su più stampi di dimensione e forma differenti. Anche pezzi complessi, come i serbatoi a doppia parete, che sono difficili se non impossibili da stampare con qualsiasi altro metodo, possono essere invece stampati con il metodo rotazionale, sempre a condizione che lo stampo sia stato progettato in maniera adeguata.

Quando il processo è correttamente monitorato e gestito, la tecnica di stampaggio rotazionale, a differenza del metodo del soffiaggio e della termoformatura, garantisce una discreta uniformità di spessore delle pareti dei pezzi stampati. Inoltre, sempre a differenza dei processi di stampaggio citati sopra, non ha linee di saldatura che richiedano lavorazioni di rifilatura o altre lavorazioni post-stampaggio, ad esclusione di una leggera bava sulla zona di divisione dello stampo, ma facilmente rimovibile.

Vantaggi

- Corpo cavo realizzato in un unico pezzo senza linee di saldatura o giunzioni
- Pezzo essenzialmente libero da tensioni
- Stampi a costi relativamente contenuti
- Tempi di fabbricazione degli stampi relativamente brevi
- Discreta uniformità di spessore delle pareti (rispetto ad altri metodi di stampaggio “free surface”, come il soffiaggio)

- Possibilità di variare la distribuzione dello spessore delle pareti senza necessità di modificare lo stampo
- Fattibilità economica della produzione di tirature ridotte
- Assenza di sfrido in quanto l'intera carica di materiale viene normalmente consumata per produrre il pezzo
- Possibilità di fabbricare pezzi multi-strato, inclusi pezzi in plastica espansa
- Possibilità di stampare contemporaneamente su una stessa macchina prodotti di tipo differente
- Relativa facilità di co-stampare inserti all'interno del pezzo
- Possibilità di co-stampare grafica di alta qualità nel pezzo stampato
- Campo quasi illimitato del disegno dell'articolo da produrre: si pensi alla forma di alcuni collettori o recipienti sagomati;
- E' possibile cambiare facilmente colori e materiali;
- Le basse pressioni utilizzate e le ridotte velocità delle rotazioni minimizzano l'usura degli stampi e delle parti meccaniche;

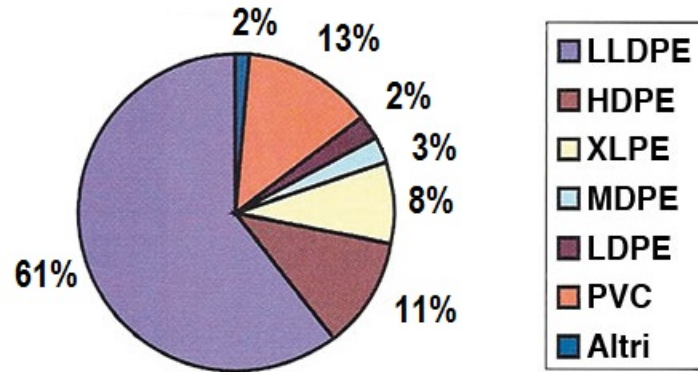
Limiti

- Tempo ciclo produzione elevato
- Limiti, ancor oggi, nella scelta dei materiali da stampaggio
- Costi relativamente elevati dei materiali connessi alla necessità di speciali additivi, e al fatto che il materiale deve essere macinato a granulometria fine
- Difficoltà nello stampaggio di alcune geometrie (come le nervature)

Materiali

Quasi tutti i prodotti commerciali fabbricati mediante stampaggio rotazionale sono fatti di materiale termoplastico, ma sono usati anche materiali termoindurenti. A dominare il mercato degli articoli rotostampati sono le poliolefine (principalmente polietilene). Questa situazione è venuta a crearsi per una serie di ragioni. Una è che il materiale può essere facilmente convertito da granuli in polvere come richiesto dalla tecnica di stampaggio rotazionale. Un'altra è che il polietilene rimane più stabile della maggior parte degli altri polimeri durante la relativamente lunga fase di riscaldamento. Oggi, il polietilene, nelle sue molte forme, costituisce circa l'85% – 95% di tutti i polimeri usati per lo stampaggio rotazionale. Il materiale più largamente usato è il plastisol (sospensione di PVC), mentre la quota rimanente è costituita da policarbonati, nylon, polipropilene, poliesteri insaturi, ABS, acrilici, cellulosici, epossidici, fluorocarburi, fenolici, polibutileni, polistireni, poliuretani e siliconi.

In figura sono riportate le quote di utilizzo di questi vari materiali. Materiali ad alte prestazioni hanno buone potenzialità per un loro utilizzo nella tecnologia dello stampaggio rotazionale, ma costituiscono ancora solo una piccola quota della produzione industriale.



materiali.jpg

Proprietà

Le proprietà che devono possedere le polveri per il rotazionale sono 4:

1. Granulometria
2. Densità apparente (massa volumica)
3. Scorrevolezza
4. Fluidità (Melt Flow Index)

Granulometria

Essa è valutata con la norma ASTM D-1921 che prevede una serie di setacci con numero unificato di maglie per pollice lineare, disposti impilati con quello più grossolano in alto. Dopo aver versato in questo un campione di 100 g di polimero si pone in vibrazione il tutto e si misura, dopo un tempo prestabilito, la quantità di polvere trattenuta da ogni setaccio. La *granulometria* è calcolata con la formula:

$$MPS = \frac{\sum (P_i \times D_i)}{100} \quad \mu\text{m}$$

essendo:

- P_i percentuale di polvere trattenuta da ogni setaccio;

- D_i Dimensione media delle particelle presenti in ogni setaccio.

Quest'ultima è definita dalla dimensione nominale della maglia del setaccio generico, addizionata della metà della stessa dimensione relativa a quello sovrastante.

Generalmente le granulometrie utilizzate sono $150 \div 500 \mu\text{m}$ e la forma migliore dei granuli si è dimostrata la cubica con spigoli generosamente arrotondati. Aumentando la dimensione media dei granuli peggiora la finitura superficiale e si allunga il tempo-ciclo.

Densità apparente

Questa grandezza è misurata in base alla norma ASTM D-1895 mediante un recipiente a forma d'imbuto, chiuso inferiormente, nel quale viene posta la polvere; rimossa la chiusura, il polimero è raccolto in un recipiente cilindrico di volume noto che si trova a una distanza prefissata dal piano inferiore dell'imbuto.

La *densità apparente* è calcolata come rapporto tra la massa di materiale nel cilindro e il suo volume.

I valori consigliati per PE sono nell'intervallo $0,35 \div 0,40 \text{ g/cm}^3$.

Scorrevolezza alla temperatura ambiente

Si utilizza la stessa attrezzatura del caso precedente, misurando il tempo di deflusso di una massa nota di polvere.

Si calcola infine la scorrevolezza P con la formula:

$$P = \frac{M \times 60}{t} \quad \text{g/min}$$

Dove:

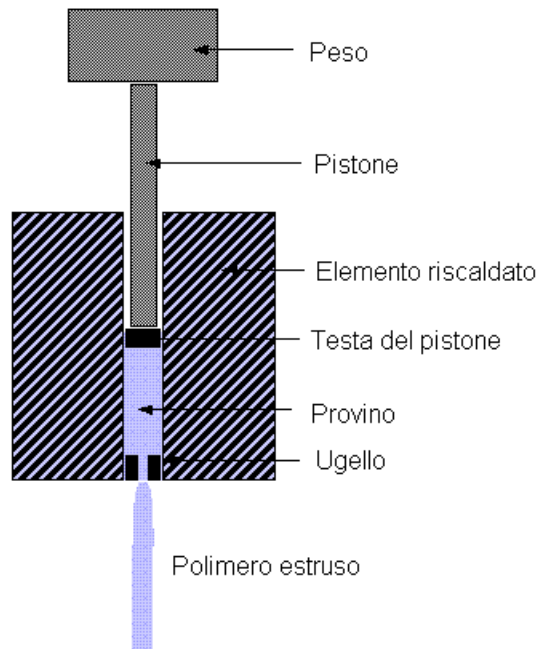
- M massa di polvere in g

- t tempo di deflusso in s

L'esperienza suggerisce valori nell'intervallo $188 \div 240 \text{ g/min}$.

Fluidità (Melt Flow Index)

La norma di riferimento è l'ISO-ASTM D-1238-62T. Per misurare la fluidità di un polimero e quindi valutare quanto è viscoso e quindi quanto facilmente è in grado di riempire uno stampo, si misura il "melt flow index", cioè la massa di polimero, in grammi, che scorre durante il tempo di dieci minuti attraverso un capillare di specifico diametro e lunghezza.



MFI.png

E viene calcolato con la formula:

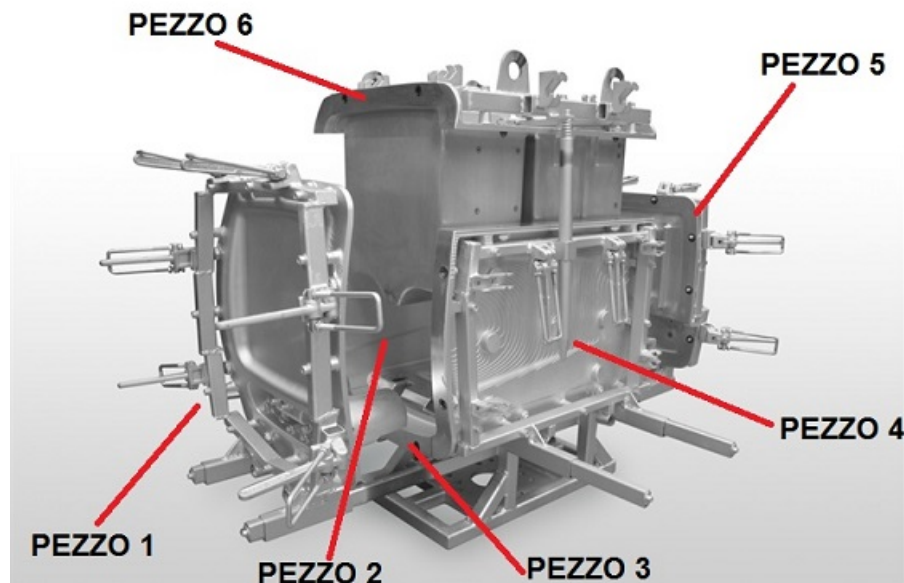
$$MFI = M \text{ g}/10\text{min}$$

con M la massa del polimero estruso dopo 10 minuti.

Per la rotoformatura del polietilene i valori consigliati sono $2 \div 8 \text{ g}/10\text{min}$.

Stampi

Gli stampi per lo stampaggio rotazionale sono sostanzialmente a forma di guscio. I pezzi più semplici sono costituiti da due semigusci; ma per pezzi di complessità più elevata possono richiedere anche tre o più parti.

*2 parti.jpg**più parti.jpg*

Lo stampo è sempre fornito di uno sfiato in modo da bilanciare la pressione all'interno del pezzo stampato con la pressione dell'ambiente esterno. Il posizionamento dello sfiato dipende dalla natura del pezzo plastico. Ad esempio, la bocca di riempimento di un serbatoio è un posto ideale dove posizionare lo sfiato.

Nella costruzione vengono utilizzati diversi tipi di metalli. I più pratici per la produzione di articoli piccoli o di media misura a cavità multiple, sono gli stampi in fusione d'alluminio. La lamiera di acciaio è utilizzata solitamente per stampi prototipi e per la produzione di grandi articoli generalmente contenitori cilindrici e altre forme semplici. Gli stampi di nichel elettroformato vengono utilizzati per lo stampaggio di piccoli articoli in PVC ed hanno il vantaggio di una buona

riproduzione della superficie, senza i problemi di porosità che spesso s'incontrano con gli stampi in fusione di alluminio. Il loro costo varia conformemente alla qualità o ai dettagli richiesti per il prodotto finito, in ogni caso paragonati alle attrezzature per lo stampaggio ad iniezione o soffiaggio sono sicuramente più economici.

Negli ultimi anni stanno prendendo sempre più piede gli stampi realizzati mediante fresatura CNC, con conseguente miglioramento della qualità dello stampo, specialmente lungo la linea di accoppiamento delle parti.

Gli stampi sono sottoposti a tensioni termiche molto elevate durante i passaggi ciclici da temperatura ambiente a temperature che superano i 300°C (600°F). Un'analisi agli elementi finiti degli stampi CNC garantiscono che l'alto livello di prestazione iniziale può essere mantenuto anche per lunghi periodi di tempo. Inoltre, negli stampi progettati mediante CAD/CAM è più facile realizzare una proprietà che è molto desiderabile, cioè mantenere una leggera pressione positiva all'interno dello stampo. L'automatizzazione dell'apertura dello stampo e del caricamento dello stampo sta aiutando nel ridurre i tempi del ciclo ed a migliorare l'uniformità qualitativa dei pezzi rotostampati.

Negli ultimi modelli delle macchine per rotostampaggio, stampo e macchina si integrano in una singola unità. Questo permette un controllo molto accurato sia della rotazione dello stampo, che della temperatura e della pressione all'interno dello stampo.

Note sulla progettazione

(Le figure inserite in questo paragrafo sono a puro scopo illustrativo)

Lo stampaggio rotazionale, come soffiaggio e termoformatura, è un metodo di stampaggio "free surface". Nello stampaggio con il metodo rotazionale si possono avere variazioni di spessore della parete, ma lo stampatore può mantenere un accurato controllo di tale spessore variando le velocità di rotazione e il rapporto tra le velocità di rotazione attorno all'asse maggiore e all'asse minore. Inoltre, è possibile schermare certe zone dello stampo allo scopo di ridurre l'accumulo di materiale, o convogliare extra calore verso le zone dove si richiede uno spessore maggiore. Una tolleranza di planarità del 2-5% è il meglio che si possa raggiungere considerando che nello stampaggio rotazionale il raffreddamento avviene su un solo lato.

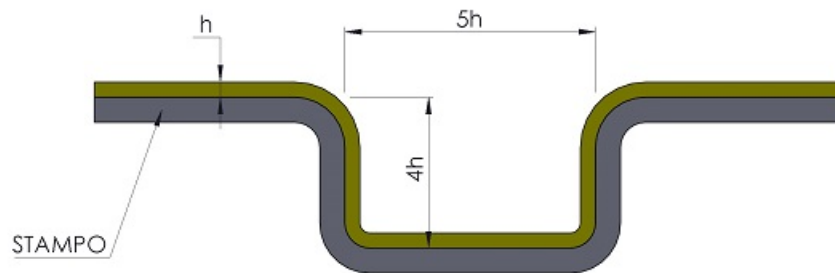
Laddove possibile, nei pezzi stampati si dovrebbe evitare di avere zone piatte estese, mentre si raccomanda il ricorso a superfici curve per mascherare gli effetti di deformazione e svergolamento. Di recente, nell'industria dello stampaggio rotazionale si sta diffondendo sempre più il metodo di raffreddamento interno con il duplice scopo di eliminare le deformazioni e di ridurre i tempi di fabbricazione.

Con lo stampaggio rotazionale è possibile ottenere filettature, sia interne che esterne, ma i profili a passo grosso sono da preferire. Per facilitare il scorrimento del materiale sullo stampo si possono usare i "flow enhancers" (spray per migliorare il flusso), prodotti commerciali che vengono spruzzati direttamente dove serve nello stampo, quali i profili delle filettature, con conseguente

notevole miglioramento della qualità della riproduzione dei dettagli dello stampo.

Gli inserti metallici sono un altro elemento comunemente presente nei pezzi rotostampati. Grazie al ritiro relativamente elevato del materiale in fase di raffreddamento, lo stampaggio rotazionale garantisce che gli inserti saranno saldamente fissati nella plastica durante il processo di stampaggio. Va tuttavia notato che il ritiro del materiale introduce una tensione residua. Come spesso accade con il polietilene, è necessario essere molto cauti nell'utilizzo di inserti in pezzi stampati che dovranno essere esposti a stress ambientale con possibile formazione di cricche di tensione.

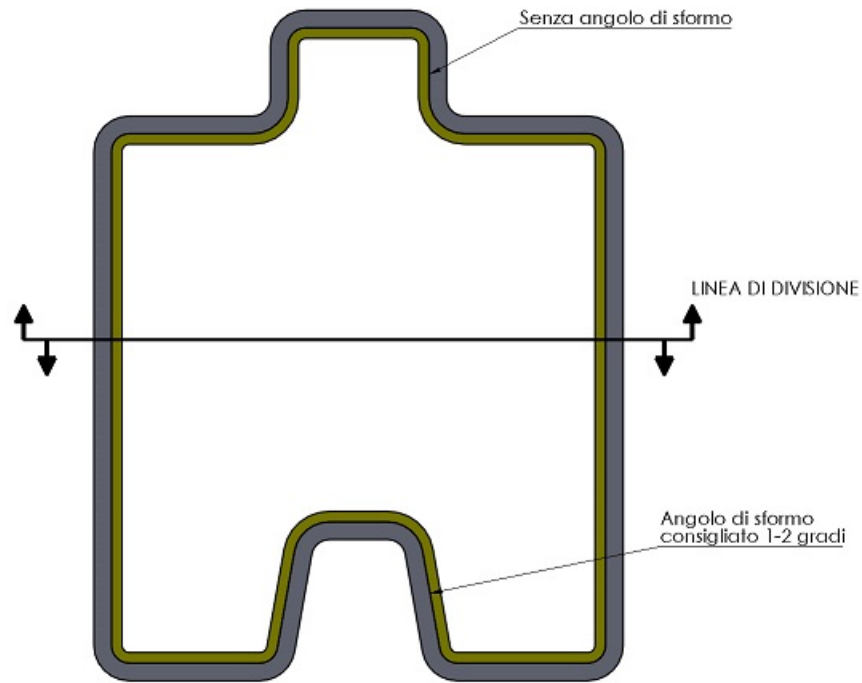
Le nervature convenzionali sono difficili da realizzare con lo stampaggio rotazionale perché il polimero in polvere non fluisce facilmente in profondità nelle rientranze necessarie per ottenere la nervatura. In alternativa, lo stesso tipo di irrigidimento si può ottenere mediante corrugamenti, come illustrato in figura.



nervatura.JPG

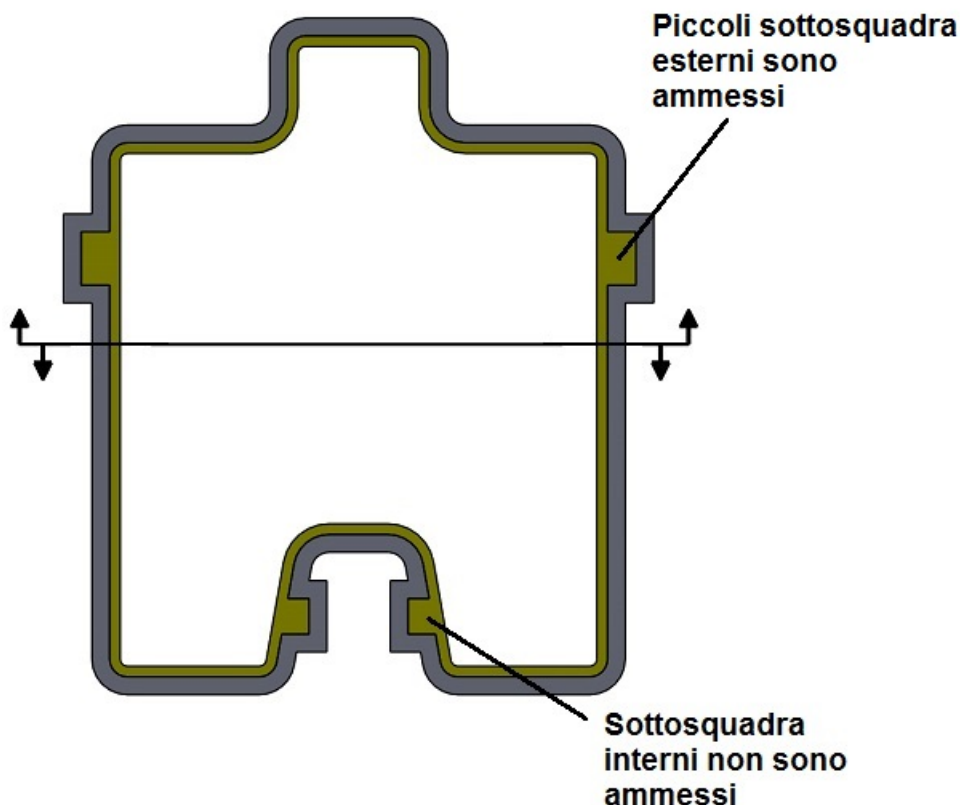
Per tali corrugamenti la profondità consigliata è di circa quattro volte lo spessore del materiale, mentre la larghezza dovrebbe essere circa 5 volte lo spessore del materiale. Questo per garantire che rigidità assiale e rigidità trasversale risultino ben bilanciate.

Gli angoli di sforno (conicità) non sono di solito necessari nella femmina dello stampo perché la plastica si ritira allontanandosi dallo stampo stesso. Tuttavia, nel maschio dello stampo, dove la plastica, ritirandosi, si schiaccia sullo stampo, angoli di sforno di 1-2° sono di solito sufficienti (vedere figura sotto).

*sformo.JPG*

Nel caso di stampi con texture, si consiglia di aggiungere 1 grado all'angolo. I valori dell'angolo di sformo qui indicati si riferiscono al polietilene. Per materiali più rigidi, come propilene e nylon, l'angolo va incrementato un'ancora di 1 grado. Materiali amorfi, come i policarbonati, richiedono in tutti i casi un'ulteriore maggiorazione di 2 gradi.

I sottosquadra sono ammessi nello stampaggio rotazionale laddove il ritiro o la flessibilità del materiale permettono al materiale di ritirarsi allontanandosi dalle pareti dello stampo. Il progettista dovrà determinare l'entità del sottosquadra sulla base della sua conoscenza del ritiro del materiale. Sono da evitare angoli di sformo troppo ampi sui sottosquadra esterni perché il ritiro del materiale potrebbe impedire l'espulsione del pezzo. Questi effetti sono illustrati in figura.

*sottosquadri.JPG*

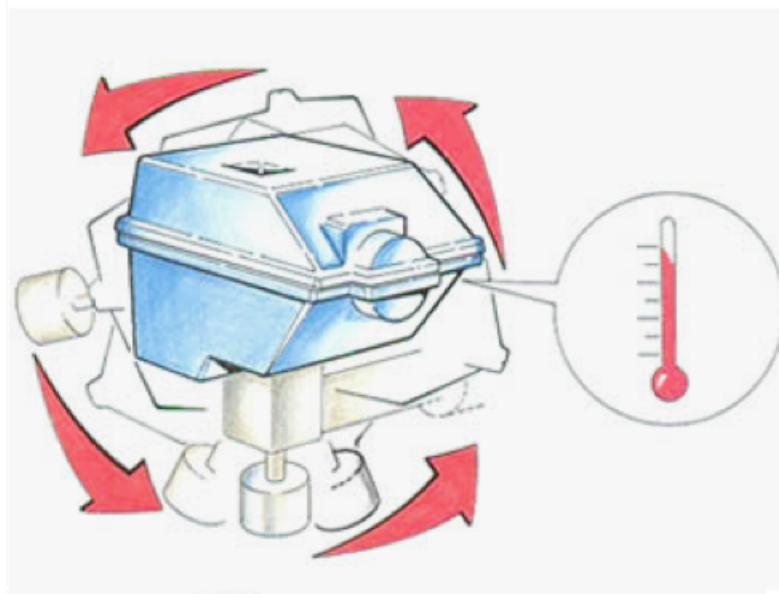
Eventuali fori nel manufatto non possono essere co-stampati usando il metodo dello stampaggio rotazionale; devono essere praticati mediante successiva lavorazione usando normali utensili da taglio. Durante lo stampaggio, è normale pratica quella di schermare le zone che dovranno successivamente essere ritagliate e questo al fine di evitare sprechi di materiale. Poiché il polietilene è difficile da verniciare, sono stati sviluppati sofisticati metodi specifici per decorare manufatti rotostampati. Ci sono varie tecniche. In una di esse, speciali decalcomanie vengono trasferite sul polietilene durante le normali operazioni di stampaggio. In altre, il trasferimento avviene dopo lo stampaggio. Ambedue i metodi sono estremamente efficaci nel garantire un'ottima grafica sui manufatti ottenuti mediante stampaggio rotazionale.

Processo produttivo

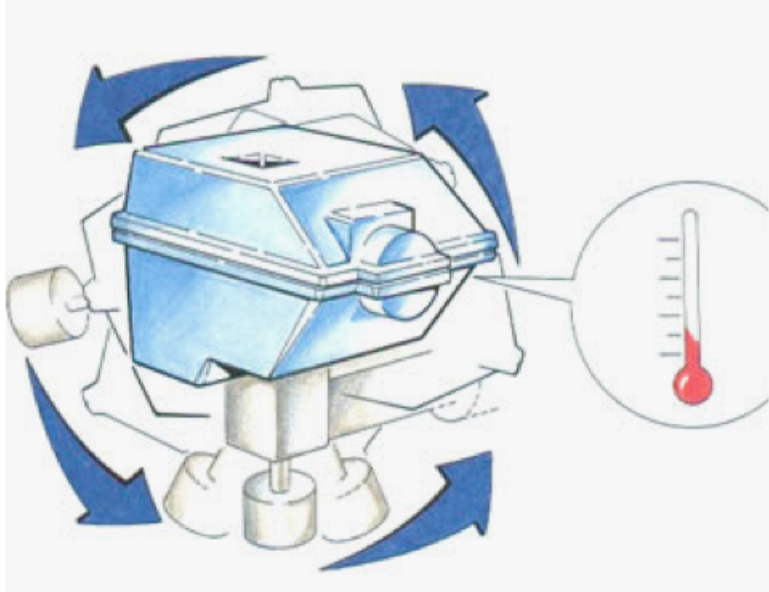
Il principio alla base dello stampaggio rotazionale di materie plastiche è relativamente semplice. Ed è propria la semplicità del processo a costituire la chiave del suo successo, perché consente allo stampatore di mantenere uno stretto controllo sia sulle dimensioni che sulle proprietà delle parti stampate. Fondamentalmente, lo stampaggio rotazionale si suddivide in 4 fasi principali: la **fase 1** consiste nel caricare un quantitativo predeterminato di polimero in polvere, granuli o forma liquida, dentro lo stampo cavo.

*fase 1.png*

Nella **fase 2** lo stampo viene riscaldato e simultaneamente fatto ruotare attorno a due assi principali in modo che il polimero al suo interno fondendosi formi uno strato aderente alle pareti interne dello stampo.

*fase 2.png*

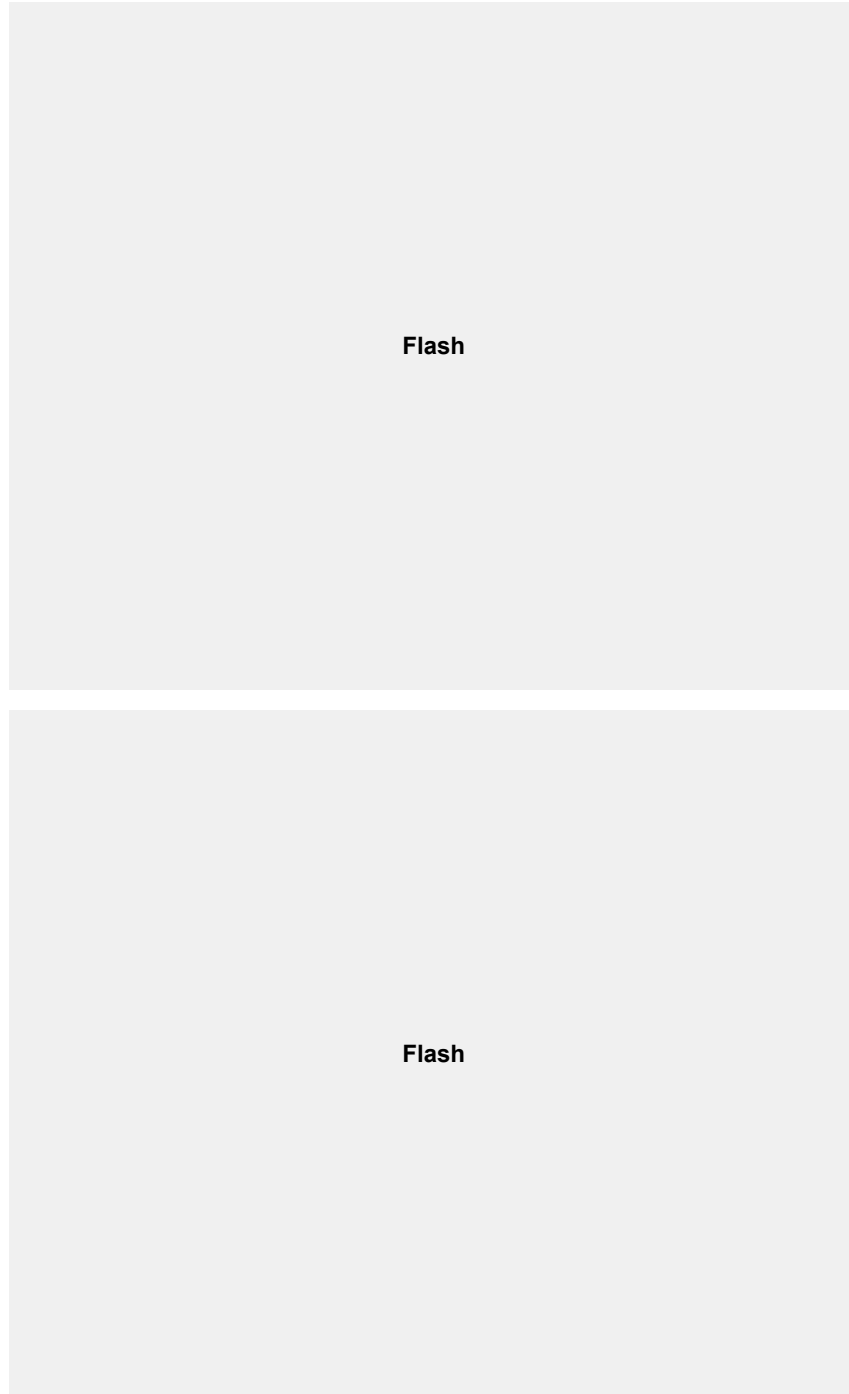
Durante la **fase 3** lo stampo ancora in rotazione viene fatto raffreddare in modo che il polimero fuso si solidifichi nella forma desiderata.

*fase 3.png*

Nell'ultima fase, la **fase 4**, quando la plastica è sufficientemente indurita, la rotazione viene sospesa per permettere l'estrazione del pezzo plastico dallo stampo.

*fase 4.png*

Ciò che distingue questo processo dalla tecnologia della colata centrifuga sono le relativamente basse velocità di rotazione, tipicamente $4 \div 20$ g/min. Ecco dei video illustrativi:



Il ciclo è completamente automatizzato: solo le operazioni di carico/scarico sono manuali e questo è il prezzo da pagare per la grande versatilità del procedimento. La possibilità di attrezzare la stessa macchina con stampi di sagoma e dimensioni diverse unita alla facilità ed alla velocità della loro sostituzione rende il ricorso a sistemi automatici di estrazione/carico molto oneroso e conduce ad una inevitabile perdita di flessibilità. L'automatizzazione ha prodotto invece ottimi risultati nelle operazioni di pesatura e dosaggio dei materiali.

Conclusione

Lo stampaggio rotazionale è da sempre un metodo noto per la sua versatilità impiegato per la fabbricazione di articoli plastici. Nel corso dell'ultimo decennio, lo stampaggio rotazionale è maturato in termini di risposta alla necessità di produrre componenti rotostampati ad alte prestazioni per i settori di mercato più esigenti. Questo, tuttavia, senza che il processo perdesse i propri vantaggi: pezzi liberi da tensioni, tempi di consegna brevi ed economicità.

Bibliografia

1. Crawford, R.J and Kearns, M. P., Practical Guide to Rotational Moulding, 2nd edition, RAPRA Technology, Shawbury, Shrewsbury, UK (2012)
2. Nugent, P., Rotational Molding: A Practical Guide., www.paulnugent.com (2001)
3. Carvani, M., Mondini, F and Romboli, E., Rotational Moulding: Theory & Practice., Association of Rotational Moulders Australasia (2006)
4. Beall, G.L., Rotational Molding – Design, Materials, Tooling and Processing, 1998, Munich: Hanser. 245.
5. Beall, G., A Designer's Guide to Rotationally Molding, SPE RETEC, 1999. Cleveland, Ohio, USA.
6. Dodge, P.T., Rotational Molding – The Basic Process, 1995, The Association of Rotational Molders: Chicago, Illinois. p. 14.
7. Crawford, R.J. and Throne, J.L., Rotational Molding Technology, William Andrew Publishing (now Elsevier) 2002
8. Crawford, R.J Rotational Moulding of Plastics, 2nd edition, Research Studies Press, UK (1996)
9. A. M. De Filippi, Fabbricazione di componenti in materiali polimerici, Hoepli (2004)
10. <https://it.wikipedia.org/wiki/Rotostampaggio>

Estratto da "<http://www.electroyou.it/mediawiki/index.php?title=UsersPages:Wall87:lo-stampaggio-rotazionale>"