

Stampaggio ad Iniezione

Filippo Cangialosi

Stampaggio ad Iniezione Scientifico

I diritti di traduzione, memorizzazione elettronica, riproduzione e adattamento totale o parziale, con qualsiasi mezzo (compresi i microfilm e le copie fotostatiche), sono riservati per tutti i paesi.

L'autore ha redatto la presente guida secondo le migliori conoscenze tecnologiche e scientifiche oggi disponibili ed ha applicato la massima attenzione nella revisione dei testi per l'eliminazione di eventuali errori. In nessun caso esso sarà responsabile per i danni riportati dall'utilizzatore derivanti dall'uso della presente guida (inclusi, senza limitazioni, il danno all'integrità fisica, il danno per perdita o mancato guadagno, per interruzione dell'attività o per altre perdite economiche).

Copertina: Ganci Giampiero

SOMMARIO

Introduzione allo stampaggio ad iniezione.....	21
Un po' di storia	21
Importanza economica	22
Che cosa è lo stampaggio ad iniezione?	22
I vantaggi dello stampaggio ad iniezione	23
Gli svantaggi dello stampaggio ad iniezione.....	24
Stampaggio scientifico	25
Che cosa significa Stampaggio Scientifico?	25
Le variabili fondamentali della plastica	27
Carta Universale per la regolazione del processo	29
Temperatura della plastica	29
Temperatura di fusione per i polimeri termoplastici	31
Temperatura di fusione per i polimeri termoindurenti	33
Temperatura di distorsione sotto carico	33
Temperatura di degradazione.....	34
Temperatura di lavorazione	34
Pressione della Plastica	35
Portata della plastica	38
Velocità di raffreddamento della plastica	38
Parametri operativi della macchina	39
Influenza dei parametri della macchina sulla Qualità e la Produttività	40
Fattori di disturbo del processo di stampaggio	41
Come applicare lo stampaggio ad iniezione scientifico	42
Benefici dello stampaggio scientifico	43
Collaudo della produzione	45
Lo stampaggio delle materie plastiche	45
Avvio della produzione	47
Qualità e controlli	49
I costi della non qualità	51
Il modello per la qualificazione dell'unità operativa	51
Diagramma di Flusso	52
Controllo dello stampo.....	57

Obiettivo	57
Quando fare il controllo	57
Chi deve controllare lo stampo	57
Attrezzature necessarie	58
Descrizione	58
Cosa può darci il controllo dimensionale dello stampo	61
Cosa non può dirci il controllo dimensionale	62
Procedura	62
Analisi dei dati	62
Raccolta campioni/informazioni	62
Finestra operativa.....	63
Obiettivo	63
Diagramma dell'area di stampaggio	63
Ampiezza della finestra operativa.....	64
Area della finestra operativa	65
Viscosensitività.....	66
Viscodecadimento	67
Procedura	68
MAD Tridimensionale	69
Stabilità del processo.....	71
Obiettivo	71
Quando fare il controllo	71
Attrezzature necessarie	71
Procedura	72
Raccolta dati	73
Procedure collegate	73
DOE e Stampaggio ad iniezione	73
Numero degli esperimenti.....	74
Interazioni a 3	74
Comprendete i fondamenti del processo	74
Il DOE come strumento di analisi.....	74
Mantenete costanti i parametri non inclusi nel DOE.....	74
Temperatura del fuso	77

Il profilo di temperatura	77
La temperatura del materiale all'interno della tramoggia	79
Come si regola:	80
La temperatura dell'estrusore nella zona di alimentazione	80
Regolare la temperatura sotto la tramoggia	82
Obiettivo	82
Quando fare il controllo	82
Attrezzature necessarie	82
Procedura.....	82
Analisi dei dati.....	83
Riscaldamento e raffreddamento del cilindro di estrusione	83
Regolare il profilo di temperatura	84
Obiettivo	84
Quando fare il controllo	84
Attrezzature necessarie	84
Procedura per la regolazione del profilo di temperatura	84
Raccolta campioni/informazioni	86
Procedure collegate.....	86
Misurare la temperatura del fuso	88
Obiettivo	88
Quando fare il controllo	88
Attrezzature necessarie	88
Procedura per termometro a contatto	88
Procedura per termometro a raggi infrarossi.....	88
Tempo di raffreddamento	91
Temperatura dello stampo	91
L'importanza della temperatura dello stampo	92
Come ottimizzare il circuito di raffreddamento	92
Riscaldamento dello stampo	94
Regolare la temperatura dello stampo	94
Obiettivo	94
Quando fare il controllo	94
Attrezzature necessarie	94
Procedura.....	94
Tempo di iniezione	97
Regolare il tempo di iniezione	98
Obiettivo	98
Descrizione	99
Quando fare il controllo	101
Attrezzature necessarie	101
Procedura.....	101
Analisi dei dati.....	103
Procedure collegate.....	104
Bilanciamento delle cavità dello stampo	105

Analisi del bilanciamento dello stampo	106
Obiettivo	106
Quando fare il controllo	106
Attrezzature necessarie	106
Procedura.....	107
Raccolta dei campioni/informazioni	107
Analisi dei dati.....	108
Procedure collegate.....	110
Tempo di mantenimento	111
Perché utilizzare lo stampaggio disaccoppiato	111
Regolare il tempo di mantenimento	112
Obiettivo	113
Quando fare il controllo	113
Attrezzature necessarie	113
Procedura.....	113
Raccolta dei campioni/informazioni	114
Analisi dei dati.....	114
Procedure collegate.....	115
Analisi comparativa delle cavità.....	117
Comparare le dimensioni delle cavità	118
Obiettivo	118
Quando fare il controllo	118
Attrezzature necessarie	118
Procedura.....	118
Raccolta dei campioni/informazioni	119
Analisi dei dati.....	119
Analisi comparativa	121
Procedure collegate.....	123
Analisi della capacità del processo.....	125
Calcolare la capacità del processo	125
Obiettivo	125
Quando fare il controllo	126
Attrezzature necessarie	126
Procedura.....	126
Raccolta dei campioni/informazioni	127
Analisi dei dati.....	127
Procedure collegate.....	131
Capacità della pressa	133
Calcolo della capacità della pressa	133
Obiettivo	133
Variabili del materiale e parametri di processo.....	133
Attrezzature necessarie	133
Raccolta campioni informazioni	134
Portata del fuso	134
Temperatura.....	136
Pressione del fuso	137
Velocità e tempo di raffreddamento del fuso	137
Strumenti statistici per il controllo della Qualità.....	139

Chi è responsabile della qualità?	139
Che cosa controllare	140
Regolazione del processo	140
Il controllo statistico di processo (SPC)	141
Variabilità	141
Cause della variabilità	142
Strumenti per il Controllo Statistico di Processo	142
La media	142
Mediana	143
Moda	144
Range (intervallo, differenza)	144
Scarto quadratico medio	145
Istogramma	145
Come si costruisce l'istogramma	147
Tipi di istogramma	149
Carte di controllo	152
I sistemi multi-cavità	155
Numero di campioni consecutivi	156
Intervallo di campionamento	156
Numero di campioni	157
Distribuzione dei campioni	157
Qualificazione di più stampi	157
La capacità del processo	157
Come calcolare la capacità del processo	158
Analisi comparativa delle cavità	159
Conclusioni	163
Bibliografia.....	165
Libri	165
Internet	166

INDICE DELLE FIGURE

<i>Figura 1 - Fattori che influenzano il processo di stampaggio</i>	<i>23</i>
<i>Figura 2 - Le 4 variabili fondamentali della plastica</i>	<i>28</i>
<i>Figura 3 - Temperatura di fusione e di transizione vetrosa.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 4 – Temperatura di fusione di un polimero cristallino.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 5 - Temperatura di fusione di un polimero amorfo.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 6 – Temperatura di lavorazione del fuso consigliata per lo stampaggio ad iniezione</i>	<i>33</i>
<i>Figura 7 – Temperatura di distorsione</i>	<i>34</i>
<i>Figura 8 - Curva della pressione misurata da un sensore installato all'interno della cavità</i>	<i>36</i>
<i>Figura 9 – Pressione sulla plastica e pressione idraulica</i>	<i>37</i>
<i>Figura 10 – Variabili fondamentali della plastica e parametri della macchina.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 11 – Influenza dei parametri di processo sulla Produttività (●) e/o la Qualità (■).....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 12 – Fattori di disturbo dello stampaggio ad iniezione</i>	<i>42</i>
<i>Figura 13 – Come progettare una parte di qualità?.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 14 – L'unità produttiva è l'insieme: Materiale, Macchina, Stampo e Processo.</i>	<i>48</i>
<i>Figura 15 – La ruota della qualità: PRVS</i>	<i>50</i>
<i>Figura 16 - Dimensione dello stampo e della parte</i>	<i>58</i>
<i>Figura 17 - Fattori che influenzano il ritiro.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 18 - Fattori che influenzano le dimensioni della parte.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 19 - Diagramma dell'area di stampaggio.....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 20 - Ampiezza finestra operativa.....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 21 - Area della finestra operativa</i>	<i>66</i>
<i>Figura 22 - Viscosensibilità.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 23 - Viscodecadimento.....</i>	<i>68</i>
<i>Figura 24 - Finestra operativa su diagramma tridimensionale</i>	<i>69</i>
<i>Figura 25 - Profilo della vite.....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 26 - Zona di alimentazione dell'estrusore.....</i>	<i>80</i>
<i>Figura 27 – Andamento del coefficiente di attrito granulo-cilindro, in funzione della temperatura della zona di alimentazione</i>	<i>81</i>
<i>Figura 28 – Profili di temperatura nel cilindro di estrusione.....</i>	<i>85</i>

<i>Figura 29 - Andamento del profilo di temperatura</i>	<i>87</i>
<i>Figura 30 – Temperatura della superficie dello stampo.....</i>	<i>92</i>
<i>Figura 31 - Temperatura di distorsione di alcuni polimeri</i>	<i>93</i>
<i>Figura 32 - Profilo di velocità e pressione.....</i>	<i>98</i>
<i>Figura 33 – Curva di flusso di un generico polimero.....</i>	<i>99</i>
<i>Figura 34 - Andamento della viscosità con la temperatura.....</i>	<i>99</i>
<i>Figura 35 - Andamento della viscosità con la velocità di iniezione.....</i>	<i>100</i>
<i>Figura 36 – Esempio di foglio per la raccolta dei dati.....</i>	<i>103</i>
<i>Figura 37 – Esempio di curva di viscosità ricavata con la pressa.....</i>	<i>103</i>
<i>Figura 38 - Dati relativi all'analisi del bilanciamento dello stampo</i>	<i>109</i>
<i>Figura 39 - Andamento della percentuale di sbilanciamento</i>	<i>110</i>
<i>Figura 40 - Fase di mantenimento.....</i>	<i>112</i>
<i>Figura 41 – Peso di tre stampate a diversi tempi di mantenimento</i>	<i>114</i>
<i>Figura 42 - Andamento del peso in funzione del tempo di mantenimento</i>	<i>115</i>
<i>Figura 43 - Dati di comparazione delle cavità.....</i>	<i>120</i>
<i>Figura 44 - Distribuzione delle misure</i>	<i>121</i>
<i>Figura 45 - Carte di controllo R e X-bar</i>	<i>122</i>
<i>Figura 46- Dati relativi al controllo di processo</i>	<i>128</i>
<i>Figura 47 - Carte di controllo del processo.....</i>	<i>129</i>
<i>Figura 48 - Matrice per la regolazione del processo</i>	<i>131</i>
<i>Figura 49 - Fonti di variazioni del processo di stampaggio.....</i>	<i>141</i>
<i>Figura 50 - Stato del processo.....</i>	<i>158</i>

INTRODUZIONE

Il mio obiettivo è “rendere semplice lo stampaggio ad iniezione!”

Nella mia attività di consulente nel campo del **Controllo Totale della Qualità**, spesso, sono chiamato dalla Direzione Aziendale per “insegnare ai tecnici a produrre parti di qualità senza perdite di tempo ed infinite prove o modifiche”.

A mio parere il problema non è quello di “insegnare” ai tecnici dell’industria a stampare, perché penso che l’industria italiana possa vantare esperti di livello mondiale; ma quello di dare loro un nuovo “*punto di vista*” ed un “*metodo*”.

In Italia l’Università forma esperti delle materie plastiche di ottimo livello; ma, di contro, i tecnici dell’industria non provengono da studi specifici sulla scienza e la tecnologia dei polimeri e solo pochi, durante la loro vita professionale, hanno la possibilità di frequentare un corso di formazione ed aggiornamento professionale.

Il 99% dei tecnici addetti allo stampaggio ad iniezione ha imparato il *mestiere* attraverso l’apprendistato, con prove ed errori.

La maggior parte delle aziende italiane, medio-piccole, ha uno o più esperti dello stampaggio, dei veri “*guru*” che dispensano insegnamenti e trucchi ai più giovani, spiegando loro che dovranno passare molte ore davanti ad una pressa, provando e riprovando mille impostazioni del processo, prima di riuscire a produrre parti di qualità. Su queste premesse la conclusione può essere soltanto una: **lo stampaggio delle materie plastiche è un’arte oscura da conoscere con l’esperienza.**

Più che insegnare ai tecnici i trucchi del mestiere, le scorciatoie, l’utilizzo della pressa, voglio dare loro un **nuovo punto di vista** per avvicinarsi allo stampaggio delle materie plastiche: il **punto di vista del materiale**. Anche se quando siamo davanti ad una pressa ce ne dimentichiamo, il nostro compito di operatori di linea non è quello di fare funzionare la pressa, ma quello di trasformare del polimero in un prodotto! Dal momento che i polimeri sono ampiamente studiati e le loro proprietà sono ben note, attraverso la conoscenza di alcuni principi di scienza dei polimeri possiamo capire che cosa succede quando passano dal “sacco” alla “tramoggia”.

Se comprendiamo la storia del polimero durante lo stampaggio, saremo in grado di considerare lo stampaggio una scienza più che un’arte!

Voglio dare a tutti i tecnici anche un **metodo**. Non basta solo produrre oggetti di buona qualità; bisogna anche produrli nel più breve tempo possibile ed al costo più basso. Oggi lo stampaggio non è più un’arte, ma non è ancora una *scienza esatta* dove tutto può essere spiegato con precisione, progettato e controllato matematicamente. Il ricorso ad un “*metodo*” ci permette di organizzare la nostra esperienza e di sopperire alla carenza di informazioni.

La messa a punto di un nuovo metodo vincente per avviare, regolare ed ottimizzare una nuova produzione per lo stampaggio ad iniezione è particolarmente sentito nei *rapporti cliente-fornitore*. Il fornitore vuole concludere al più presto la fase di industrializzazione e di pre-serie per certificare il completamento del suo lavoro, il rispetto delle specifiche e per avviare la produzione e consegna della merce. Il cliente da parte sua vuole essere sicuro che il prodotto sia dimensionalmente corretto, che le sue caratteristiche siano quelle volute e che il processo di produzione sia sotto controllo. La richiesta di un numero elevato di controlli viene

posta come condizione per potere effettuare la consegna della merce e tutto ciò, inevitabilmente, porta ad un contenzioso con il fornitore sui costi ed i tempi.

Nella pratica industriale generalmente la produzione è affidata ad un operatore esperto che regola la pressa, passa alcune ore a provare diverse condizioni e produce per un certo tempo. Il responsabile del controllo qualità preleva dei campioni per certificarne la conformità alle specifiche. Molti produttori si basano sulla loro “esperienza” o sui loro “esperti” e considerano sufficiente testare una decina di pezzi per cavità per decidere la qualificazione dello stampo. Altri preferiscono puntare sui “grandi numeri” e passano a setaccio il 100%, o quasi, della produzione di alcune ore per assicurarsi che il valore medio, minimo e massimo di una certa caratteristica sia all’interno dei valori di specifica. Altri ancora basano i loro controlli sul prodotto finito ricorrendo a piani di campionamento con diversi livelli di difettosità accettabile. Tutti questi metodi, però, hanno il difetto di essere “statici” e di analizzare il prodotto solo in un tempo limitato di avvio della produzione. Il metodo da noi sviluppato e qui proposto ha il vantaggio di essere “dinamico” in quanto:

- Punta la sua attenzione sul prodotto ed il processo che lo produce,
- Analizza il prodotto in un arco di tempo piuttosto lungo,
- Cerca il bilanciamento continuo di qualità, costi e tempi, mediante un procedimento di apprendimento continuo, per cui gli sforzi sono concentrati solo lì dove portano dei benefici.

I principali benefici del metodo sono:

- riduzione del numero delle prove (e quindi dei costi),
- riduzione del tempo di avvio della produzione,
- aumento del livello di qualità,
- maggiore affidabilità del processo produttivo,
- migliore comprensione dei fattori che influenzano il processo.

Anni di esperienza e la conoscenza delle materie plastiche, mi hanno spinto a scrivere questo libro per dare a tutti i tecnici una serie di procedure pratiche per regolare ed ottimizzare il processo di stampaggio ad iniezione. Alcuni argomenti forse vi sono noti, altri li imparerete per la prima volta, ma in ogni caso avrete la possibilità di consultare delle procedure che in maniera ordinata vi guideranno attraverso delle prove, degli esperimenti, alla raccolta dei dati, alla loro elaborazione ed interpretazione.

Ricordate che non tutto è misurabile, ma solo ciò che è misurabile può essere migliorato.

Palermo, 10 giugno 2003

Filippo Cangialosi

Presidente Studio CQC

Palermo, Italia

www.plasticando.it

info@plasticando.it

INTRODUZIONE ALLA 2^a EDIZIONE

Dopo sei anni dalla prima edizione con grande piacere scrivo l'introduzione alla seconda edizione. La seconda edizione di un libro è motivo di grande soddisfazione per l'autore ed un'opportunità per i lettori.

Il successo della prima edizione ed i commenti positivi che ho ricevuto mi hanno incoraggiato a rivedere e migliorare questo libro per venire incontro alle esigenze dei lettori.

La novità più importante è l'arricchimento del capitolo 15 dedicato agli *Strumenti statistici per il controllo della Qualità*.

Il capitolo si arricchisce di ben 18 pagine che illustrano gli strumenti statistici richiamati nel testo per analizzare i dati relativi alla regolazione ed ottimizzazione del processo di stampaggio. I nuovi concetti di statistica sono dati in forma semplice e sempre con riferimento all'utilizzo che ne deve fare l'operatore di linea per ottimizzare il processo dello stampaggio ad iniezione. Pur rimandando ai testi di statistica per i concetti di base si sono voluti analizzare con semplicità e molti esempi i metodi di calcolo che possono essere utilizzati per meglio comprendere i dati raccolti.

Naturalmente, anche il resto del libro è stato rielaborato ed integrato con testi e figure nuove.

Con l'auspicio che questa edizione possa avere il successo della precedente auguro a tutti buona lettura.

Palermo, 4 marzo 2010

Filippo Cangialosi

Palermo, Italia

www.plasticando.it

info@plasticando.it

STAMPAGGIO AD INIEZIONE SCIENTIFICO

GUIDA ALLA REGOLAZIONE ED OTTIMIZZAZIONE DELLO STAMPAGGIO AD INIEZIONE (GROSI)

*Alla mia famiglia:
Milena e Valeria*

Bibliografia

Libri

Bozzelli, John "Process Control for Injection Molding Machines: Strategy & Requirements to be an Internationally Competitive Molder", riportato in <http://www.scitechplastics.com/>

Cangialosi, Filippo "Calcolo della capacità di processo dello stampaggio ad iniezione", memoria presentata al XX Convegno Nazionale dell'Associazione Italiana Cultura Qualità AICQ, 15-17 maggio 2000 Bologna

Cangialosi, Filippo "Conoscere i parametri della pressa", EuroPass Editore, 2004

Cangialosi, Filippo "Dati di processo per lo stampaggio ad iniezione", EuroPass Editore, 2004

Cangialosi, Filippo "I punti critici dei controlli di qualità" Rivista Italia Imballaggio, n. 4/98, pagg. 62-66.

Cangialosi, Filippo "L'approccio statistico alla qualificazione dei sistemi multicavità", Rivista De Qualitate Febbraio 1997, pag. 67

Cangialosi, Filippo "Proprietà e lavorazione delle materie plastiche", EuroPass Editore, 2004

Cangialosi, Filippo, "Conoscere le materie plastiche", EuroPass Editore, 2004

Cangialosi, Filippo, "Le parole della plastica con CD-Rom - Dizionario elettronico di scienza e tecnologia dei polimeri", EuroPass Editore, 2004

Cangialosi, Filippo "Caccia al difetto nello Stampaggio ad Iniezione", EuroPass Editore, 2004

Galgano, Alberto "I sette strumenti della qualità totale", il Sole 24ore

Shingeo, Shingo "Zero Quality Control: Source inspection and the Poka-yoke system" Productivity Press

Internet

Plastic@ndo: il portale della formazione ed informazione sulle materie
plastiche: www.plasticando.it