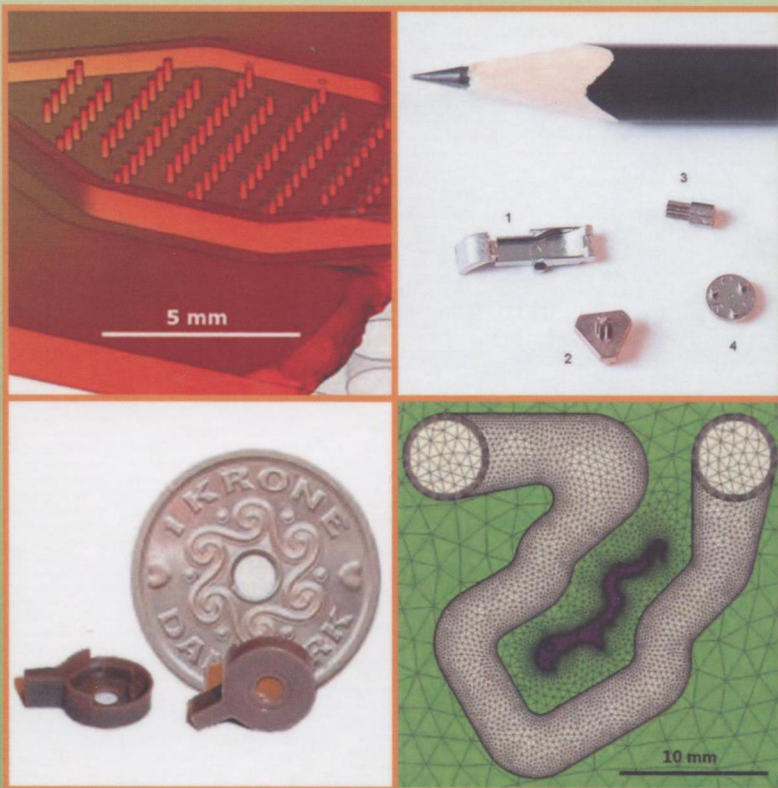


Г. Тозелло

МИКРОЛИТЬЕ ПОД ДАВЛЕНИЕМ



Гвидо Тозелло

Микролитье под давлением

*Перевод с английского языка
под редакцией В. Г. Дувидзона*

издательство
ПРОФЕССИЯ

Санкт-Петербург
2021

 ЦЕНТР
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ
ПРОГРАММ
ПРОФЕССИЯ

УДК 678.027.74
ББК 35.710
Т50

Г. Тозелло

Т50 Микролитье под давлением : пер. с англ. яз. под ред. В. Г. Дувидзона. — Санкт-Петербург : ЦОП «Профессия», 2021. — 400 с., ил.

ISBN 978-5-91884-111-2

В книге подробно рассмотрены основные вопросы литья микродеталей: особенности процесса литья, специальные полимерные материалы и требования к ним, особенности конструкций пресс-форм и специального оборудования.

Сформулированы критерии для точного литья микродеталей, включая соблюдение требований к поверхности и геометрии. В отдельных главах отражены рекомендации к специфике конструирования и изготовления пресс-форм, PIM-технологии, методы инструментального контроля качества литьевых форм и готовых изделий для широкого круга микрооптических, микромеханических систем и многофункциональных микролитья: микролитье с вакуумированием, аддитивные технологии, многокомпонентное микролитье, включая необходимое оборудование. Приведены методы обнаружения и выявления дефектов и даны пути эффективного решения проблем качества готовых изделий.

Книга предназначена инженерам, конструкторам, технологам, разработчикам микролитьевого производства, а также исследователям и специалистам, занимающимся его совершенствованием, и является наиболее исчерпывающим руководством по микролитью пластмасс.

ББК 35.710
УДК 678.027.74

© Carl Hanser Verlag, Munich 2018. All rights reserved.

Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав.

ISBN 978-1-56990-653-8 (англ.)
ISBN 978-5-91884-111-2

© Carl Hanser Verlag, Munich, 2018
© ЦОП «Профессия», 2021
© Перевод, оформление: ЦОП «Профессия», 2021

Оглавление

Предисловие к русскому изданию.	11
Благодарность от автора	12
Предисловие	13
Об авторе	16

Часть 1. Полимерные материалы и технология микролитья

Глава 1. Технологические особенности литьевых машин для микролитья	19
1.1. Введение.	19
1.2. Анализ патентов	19
1.3. Литьевые машины для микролитья: структура и технические решения.	24
1.3.1. Введение в основы функционального моделирования.	25
1.3.2. Метод.	27
1.3.3. Функциональный анализ	29
1.4. Приложение	40
Литература.	44
Глава 2. Мониторинг и управление процессом микролитья	46
2.1. Необходимость мониторинга процесса микролитья.	46
2.2. Датчики контроля технологического процесса микролитья	47
2.2.1. Объемный расход.	47
2.2.2. Датчики температуры	49
2.2.3. Датчики давления	50
2.2.4. Ультразвуковые датчики.	52
2.3. Системы визуализации	53
2.3.1. Конструирование оборудования для визуализации	53
2.3.2. Высокоскоростное формирование изображения	55
2.3.3. Методы теплового образования изображений.	57
2.4. Системы сбора и хранения данных	57
2.4.1. Аппаратура для сбора данных	57
2.4.2. Синхронизация систем сбора данных (DAQ)	59
2.4.3. Стратегии коммуникации (информационного обеспечения) и хранения.	59
2.5. Применение систем текущего контроля процесса	60
2.5.1. Определение рабочих характеристик литьевой машины.	60
2.5.2. Оценка качества материала	62
2.5.3. Определение технологического «окна переработки»	63
2.5.4. Граничные условия моделирования и валидация результатов	64
2.5.5. Разработка и валидация датчиков	66
2.5.6. Интеллектуальная система управления процессом.	67
Литература.	68
Глава 3. Структура и свойства полимерных материалов в микроизделиях	70
3.1. Введение.	70
3.2. Специфические свойства полимерных материалов для микролитья	71

3.3.	Влияние масштабирования на полимерные материалы в процессах микролитья	72
3.3.1.	Реологические свойства в микро- и наноразмерных диапазонах при низких, высоких и сверхвысоких скоростях сдвига.	73
3.3.2.	Свойства полимерных материалов — pVT -диаграммы для микромасштаба	76
3.3.3.	Тепловые свойства полимерных материалов в микромасштабе	78
3.3.4.	Механические свойства литьевых микроизделий (испытание микроизделий на растяжение и измерение нанотвердости).	80
3.4.	Молекулярная ориентация и кристалличность в литьевых микроизделиях	83
3.4.1.	Аморфные полимеры	84
3.4.2.	Полукристаллические полимеры	86
3.5.	Микролитье микро- и нанокомпозитов	88
	Литература	92
Глава 4.	Воспроизводимость формообразующей поверхности в процессах микролитья.	94
4.1.	Воспроизведение микро- и наноструктур	94
4.2.	Технологии микро- и наноструктурирования поверхности.	97
4.2.1.	Технологии литографии	98
4.2.2.	Нелитографические технологии на основе электрохимии.	100
4.3.	Оценка воспроизводимости субмикронных поверхностей в микроизделиях из полимерных материалов	102
4.3.1.	Оценка точности воспроизведения размеров микроэлементов формообразующей поверхности.	104
4.3.2.	Измерения профиля поверхности	105
4.3.3.	Воспроизведение амплитуды и угла наклона поверхностей в изделиях из полимерных материалов.	106
4.3.4.	Применение параметров площади поверхности.	109
4.3.5.	Примеры измерений распределения интенсивности отражения света	111
4.4.	Влияние формообразующей поверхности литьевой формы и технологических параметров на воспроизводимость микроструктур	112
4.4.1.	Воспроизведение и оптимизация определяемых геометрических структур	112
4.4.2.	Качество воспроизведения больших площадей поверхностей с наноструктурами.	115
4.4.3.	Влияние технологических параметров на воспроизведение геометрии формообразующей поверхности.	118
	Литература	121

Часть 2. Технологии изготовления литьевых форм для микролитья

Глава 5.	Технологии механической микрообработки для изготовления литьевых форм для микролитья.	127
5.1.	Введение.	127

5.2. Технологическая цепочка изготовления литевых форм для микролитья.	129
5.3. Механическое микроудаление материалов.	132
5.3.1. «Размерные» эффекты.	134
5.3.2. Усилие резания и отжим инструмента.	136
5.3.3. Станки	136
5.4. Микрофрезерование	137
5.4.1. Режущие инструменты	138
5.5. Микроточение	140
5.6. Микросверление	140
5.7. Тепловыделение в процессах удаления материала заготовки.	141
5.8. Электроэрозионная микрообработка (<i>EDM</i>).	141
5.8.1. Проволочная микро- <i>EDM</i>	144
5.8.2. Проволочно-вырезная микро- <i>EDM</i>	145
5.8.3. Микро- <i>EDM</i> со сверлением.	145
5.8.4. Обработка на электроэрозионном проволочно-полировальном станке . . .	146
5.8.5. Микрофрезерование <i>EDM</i>	146
5.9. Примеры применения технологий механической обработки при изготовлении литевых форм для микролитья.	147
5.9.1. Литевая форма для микролитья, полученная прямым методом изготовления.	148
5.9.2. Литевая форма для микролитья, полученная косвенным методом изготовления.	149
Литература.	151
Глава 6. Технологии сверхпрецизионной мехобработки при изготовлении литевых форм для микролитья.	153
6.1. Общие аспекты сверхпрецизионной механической обработки	154
6.2. Мехобработка алмазным инструментом	156
6.2.1. Алмазное точение	156
6.2.2. Алмазное фрезерование.	159
6.2.3. Профилирование	163
6.3. Абразивная мехобработка.	165
6.3.1. Последовательность процессов	165
6.3.2. Сверхпрецизионное шлифование.	166
6.3.3. Полирование	170
6.4. Применение сверхпрецизионной мехобработки	173
6.4.1. Линза Френеля	173
6.4.2. Микросветорасщепитель	174
6.4.3. Дифракционные оптические элементы.	175
6.4.4. Световозвращатели (катафоты)	176
Литература.	178
Глава 7. Химико-термическая обработка формообразующей поверхности литевых форм для микролитья.	182
7.1. Введение.	182
7.2. Изучение эффектов химико-термической обработки поверхностей с алмазоподобным углеродным покрытием в процессах микролитья . . .	183

7.2.1.	Обработка поверхности для улучшения извлекаемости отливки из литевой формы	183
7.2.2.	Анализ результатов эксперимента по улучшению извлекаемости отливки из литевой формы с использованием химико-термической обработки формообразующей поверхности	184
7.2.3.	Аттестация, проверка и результаты	186
7.3.	<i>DLC</i> -покрытия ФОД литевых форм для микролитья и влияние температуры	187
7.3.1.	<i>DLC</i> -покрытия в литевых формах для микролитья	187
7.3.2.	Анализ результатов эксперимента по определению влияния температуры на литевые формы для микролитья с <i>DLC</i> -покрытиями.	189
7.3.3.	Аттестация, проверка и результаты	190
7.3.4.	Основные результаты	193
7.4.	Новая технология химико-термического текстурирования ФОД литевых форм для микролитья	194
7.4.1.	Текстурирование ФОД литевой формы и усилие извлечения отливки из формы	194
7.4.2.	Изучение эксперимента по текстурированию ФОД	195
7.4.3.	Аттестация, проверка и результаты	197
7.5.	Выводы	200
	Литература	202

Часть 3. Ключевые высокоэффективные технологии микролитья

Глава 8.	Микролитье с вакуумированием	207
8.1.	Введение	207
8.1.1.	Удаление воздуха при литье под давлением	207
8.1.2.	Микролитье с вакуумированием	208
8.1.3.	Воздушный поток в формующей полости при микролитье	208
8.2.	Преимущества и ограничения	209
8.3.	Оборудование и конструкторские решения	212
8.3.1.	Активное вентилирование	212
8.3.2.	Конструкция литевой формы для микролитья с вакуумированием	213
8.3.3.	Герметизация формующей полости	214
8.3.4.	Регулирование вакуума	216
8.4.	Особенности воспроизведения геометрии формообразующих поверхностей	216
8.4.1.	Высота воспроизведенных микроэлементов	217
8.4.2.	Четкость воспроизведения микроэлементов	218
8.4.3.	Морфология изделий	219
8.5.	Оптимизация вентилирования	220
8.5.1.	Влияние параметров процесса микролитья	221
8.5.2.	Влияние выбора полимерного материала	222
8.6.	Послесловие	224
	Литература	225

Глава 9. Моделирование и имитация процессов микролитья	227
9.1. Введение.	227
9.1.1. Процесс микролитья	227
9.1.2. Зачем требуется моделировать процесс литья?	227
9.2. Математическое обоснование	229
9.2.1. Вязкость расплава полимерного материала	229
9.2.2. Термодинамические свойства	231
9.2.3. Течение расплава полимерного материала.	232
9.3. Новейшие достижения в области имитационного моделирования процессов микролитья и их проблемы.	234
9.4. Лучшие стратегии для имитационного моделирования процесса литья микроизделий	236
9.4.1. Моделирование.	237
9.4.2. Построение расчетной сетки	239
9.4.3. Данные о полимерных материалах	240
9.4.4. Валидация и проверка результатов моделирования	242
9.5. Примеры проектирования с использованием имитационного моделирования и моделируемые явления.	246
9.5.1. Оптимизация конструкции впускного литника.	246
9.5.2. Эффект запаздывания.	250
9.6. Выводы	251
Литература.	252
Глава 10. Метрологическое обеспечение качества в процессах микролитья.	257
10.1. Введение.	257
10.2. Качество процесса измерения: калибровка и метрологическая прослеживаемость	258
10.2.1. Точность и прецизионность.	260
10.3. Метрология в процессах микролитья	262
10.3.1. Размерная метрология	262
10.3.2. Метрология поверхности	266
10.4. Контрольно-измерительное оборудование для микроизделий и литьевых форм для микролитья.	274
10.4.1. Оптические измерительные приборы	287
10.5. Неопределенность измерений размеров и топографии поверхности микроизделий и литьевых форм	294
10.5.1. Оценка неопределенности в процессах микролитья.	298
Литература.	301
Глава 11. Быстрое изготовление опытных образцов микроизделий и литьевых форм для микролитья с помощью аддитивных технологий	306
11.1. Аддитивное производство: технологии и материалы	306
11.1.1. Аддитивные технологии для полимерных материалов	309
11.1.2. Аддитивные технологии для металлических материалов	313
11.2. Технологии аддитивного производства для изготовления литьевых форм процесса микролитья	315

11.2.1. Технологии аддитивного производства для изготовления твердых ФОД литьевых форм для микролитья	317
11.2.2. Технологии аддитивного производства мягких ФОД литьевых форм для микролитья	317
11.2.3. Косвенные методы изготовления литьевых форм для микролитья.	322
11.3. Технологии аддитивного производства для прямого изготовления микроизделий	324
Литература.	329

Часть 4. Многокомпонентное микролитье

Глава 12. PIM-процесс в микролитье	335
12.1. Введение.	335
12.2. Описание процесса.	336
12.2.1. Сырье для PIM-процесса	337
12.2.2. Удаление связующего	339
12.2.3. Спекание	340
12.3. Литье под давлением микроизделий из порошка (микро-PIM)	340
12.3.1. Различия между порошками и полимерными материалами при литье под давлением	341
12.3.2. Отличия между макро-PIM и микро-PIM.	342
12.4. Двухкомпонентное PIM.	346
12.5. Имитационное моделирование микро-PIM	348
12.5.1. Имитационное моделирование микро-PIM с использованием коммерческих компьютерных программ	348
12.5.2. Имитационное моделирование микро-PIM с использованием модифицированных или новых компьютерных программ	350
12.6. Выводы и прогнозы	351
Литература.	353
Глава 13. Многокомпонентное микролитье	358
13.1. Введение.	358
13.2. Многокомпонентное литье и многокомпонентное микролитье.	359
13.2.1. Введение и сферы применения	359
13.2.2. Области применения	361
13.2.3. Преимущества и недостатки	363
13.2.4. Варианты многокомпонентного литья	365
13.3. Двухкомпонентное микролитье	365
13.3.1. Связь двух полимерных материалов	366
13.3.2. Поверхность раздела двух полимерных материалов.	382
13.4. Модификация адгезионных свойств при многокомпонентном литье.	390
13.5. Прочие спорные вопросы качества при многокомпонентном микролитье	391
13.6. Заключение	393
Литература.	395