

**ДЕФЕКТИ, ПРОЯВЕНИ ПРИ ИЗРАБОТВАНЕ НА ИНСТРУМЕНТАЛНИ
ЗАГОТОВКИ ПО МЕТОДА МІМ. АНАЛИЗ, ПЛАНИРАНЕ И
ПРОГНОЗИРАНЕ****DEFECTS DURING TECHNOLOGICAL PROCESS OF PRODUCING
PARTS BY MIM TECHNOLOGY. ANALYSIS, PLANNING AND
PROGNOSIS**

Ирина Стефанова Александрова
Технически университет – Габрово

Калин Владимир Анастасов
Технически университет – Габрово

Abstract

Producing parts by all known methods takes into consideration many defects, appearing in different stages of the technological process. Their avoidance depends mainly on knowledge about the process, its control, planning and prognosis. Theoretical prognosis is connected with deep knowledge about processes and their weaknesses about the process installations, about geometric and material specifications of manufactured parts. This article is concerning common defects in parts, produced by MIM-technology. The interdependences between them are systematized. The defects and the interdependences between them are analyzed.

Keywords: MIM-technology, tool-making

ВЪВЕДЕНИЕ

С цел оптимизиране на разходите, повишаване на производителността и намаляване на себестойността в инструменталното производство се използват групи от методи за приближаване на формата и размерите на изходната заготовка до тези на готовия инструмент. Такива методи са леенето, щамповането, щанцоването, методите на праховата металургия, методът на инжекционно формоване на метали (Metal Injection Moulding – MIM) [1,3,5,8-9]. Сравнителният им анализ по параметрите производителност, физикомеханични свойства, точност на размерите и сложност на формата на изделието [1] доказва предимствата на MIM-технологията по отношение на обработването на изделия със сложна конфигурация от инструментални стомани с висока производителност. Недостатъци на метода са скъпото и сложно оборудване, необходимо за реализацията на процеса, и появата на дефекти при всеки от неговите етапи.

За да се оптимизират работните режими за обработване на определен инструментален материал по метода на инжекционно формоване и да се получат инструментални заготовки с необходимите физикомеханични свойства, е необходимо да се анализират дефектите, получени след всеки етап на технологичния процес, както и възможните причини за възникването им.

Цел на настоящата разработка е изследване, анализ и прогнозиране на дефектите при обработване на инструментален материал *Catamold M2 DIN SC 6-5-1.3342* по метода на инжекционно формоване, определяне на корелационните връзки между тях и избор на средства за отстраняването им.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Технологичният процес за изработване на заготовки от инструментален материал *Catamold M2 DIN SC 6-5-1.3342* по метода на инжекционно формоване се реализира на четири етапа [1,8-9]:

- Етап 1 – Сушене на материала – на този етап се извършва извличане на влагата от материала и подготовка за следващия етап – инжекционно формоване.

- Етап 2 – Инжекционно формоване – на този етап се придава определена форма, но не и окончателни размери на заготовките, формират се изходната плътност и структура на материала. Етапът е предварителен за депластифицирането и определящ за поведението на заготовките при останалите етапи на обработката. Основните фактори, влияещи върху неговото протичане, са температурите на инструмента и машината, скоростта и налягането на формоване, геометрията на лежковата система и дюзата.

- Етап 3– Депластифициране – на този етап се извършва отделяне на свързващото вещество (полимера) от обема на заготовките. Етапът е предварителен за синтероването и се определя от температурата на пещта, количеството на подаваната киселина за единица време, количеството на подавания инертен газ, големината на вакуума и от времето за осъществяване на процеса.

- Етап 4 – Синтероване – на този етап се извършва синтероване (спичане) на заготовките, като те получават окончателната си форма, размери и физикомеханични свойства. Основните фактори, влияещи върху протичането на етапа, са температурата на пещта, количеството и качеството на подавания инертен газ, големината на вакуума, времето за осъществяване на процеса (скоростите на нагряване и охлаждане).

За да се изследват и анализират дефектите на всеки етап от разгледания технологичен процес, той е приложен за получаване на цилиндрични заготовки с диаметър 8 mm и дължина 65 mm , от които могат да се изработят режещи инструменти от типа на свредла, райбери, зенкери, фрези и метчици. За реализацията му е използвано следното работно оборудване: сушилна камера; машина за преработване на термопластични полимери Battenfeld, снабдена със специален шнек; вакуумна пещ за депластификация; вакуумна пещ за синтероване. Изработена е и инструментална

екипировка – шприцформа, като са отчетени коефициентът на свиване и вискозитетът на материала, коефициентът на триене и работната температура.

Работните режими за реализация на технологичния процес, подбрани въз основа на априорна информация [2,4,6-9] и предварителни изследвания на дефекти, получени при изработване на заготовки от материалите *Catamold 42CrMo4* и *Catamold 316L*, са:

- температура на сушене на материала – $90 \div 100^\circ\text{C}$;

- работна температура на инструмента – $125 \div 128^\circ\text{C}$;

- работна температура на инжекционното формоване (температура на дюзата) – 190°C ;

- работна температура за депластификация – $110 \div 120^\circ\text{C}$;

- разход на азотна киселина – $35 \div 40\text{ ml/h}$;

- разход на транспортиращ газ азот – 500 l/h ;

- работна температура при синтероване – 1250°C ;

- време на синтеровъчния процес – 12 h .

Времето на задържане при депластификация се променя със стъпка 1 h в интервала $1 \div 8\text{ h}$ до достигане на загуба на маса $7,25\%$ при константно натоварване на пещта от $203,85\text{ g}$ (10 заготовки) и подаване на постоянно количество азотна киселина ($35 \div 40\text{ ml/h}$) и транспортиращ газ азот (500 l/h) в камерата.

Дефектите, получени при всеки етап от технологичния процес за изработване на заготовки от инструментален материал *Catamold M2*, причините за тяхното проявяване и начините за отстраняването им са представени в *таблица 1*. Анализът им показва, че дефектите от един етап преминават в следващия като някои от тях се задълбочават. Следователно не може да се говори за изолирани дефекти. Те са взаимно свързани, проявяват се в определена.

Таблица 1. Дефекти на заготовки от инструментален материал Catamold M2, проявени при всеки етап на МІМ - технологията

Дефект	Причини за дефекта	Начини за отстраняване
1	2	3
Етап 1		
1.1. Влага в материала.	Наличие на остатъчна влага.	Оптимизира се процесът на сушене с неговите параметри – време и температура: - След сушене в продължение на 1 h се определя влагата в материала в съответствие с принципа на загуба на маса по зависимостта: $D = \frac{m_1 - m_2}{m_1} 100, \%,$ където: m_1, m_2 - маса на материала преди и след сушене. - След първото се извърши второ контролно сушене в продължение на 1 h, като остатъчната влага се определя по зависимостта: $D = \frac{m_2 - m_3}{m_2} 100, \%,$ където: m_2, m_3 - маса на материала след първо и второ сушене; Постигна се остатъчна влага $D \leq 0,005\%$ при изискване $D \leq 0,01\%$.
1.2. Пригар на полимера	Неправилно избран време-температурен режим на сушене, което води до промяна в свойствата на полимера.	Оптимизира се процесът на сушене и се избира следният режим: - време на сушене - 2 h; - температура на сушене - 100° C .
Етап 2		
2.1. Газови шупли (фиг. 1)	Лошо вентилиране на инструмента. Турбуленция на полимера поради лоша конструкция на лежковата система. Замърсяване на полимера или гранулата с органични замърсители, образуващи газове при изгарянето си. Наличие на остатъчна влага в материала поради неправилно извършен етап 1.	Извършва се промяна в конструкцията на лежковата и вентилационната система с отчитане на спецификата на материала. Отстранява се замърсяването, породено от теч на масло в инструмента.
2.2. Пригар по повърхността на заготовката	Формоване с надкритична скорост, пораждаща изгаряне на полимера в определена зона. Малко сечение на втока.	Избор на целесъобразен режим на формоване: - време на впръскване – 0,8 s ; - скорост на впръскване – 20 cm³ / s - налягане на формоване - 90 MPa . Промяна на лежковата система в зоната на втока.

Таблица 1

1	2	3
2.3. Различна плътност в обема на заготовката (в повърхностния слой и в сърцевината)	Формоване с надкритична скорост. Неправилно подбрано налягане на формоване. Неправилно конструирана леякова система. Газови шупли.	Избор на целесъобразен режим на формоване (аналогичен на този в т.2.2.). Промяна на леяковата система
2.4. Релефна повърхнина на заготовката (ефект на грамофонната плоча - проявява се във вид на релефни концентрични канавки или линии, които се наблюдават в края на преместване на потока).	Неправилно подбрано налягане на формоване. С нарастване на налягането фронтът на потока започва да вибрира, в резултат на което се премества на определено разстояние.	Избор на целесъобразен режим на формоване (аналогичен на този в т. 2.2).
Етап 3		
3.1. Недостатъчна загуба на маса	Недостатъчна степен на депластификация, в резултат на: - малко време на задържане; - недостатъчно количество реагент в камерата.	Установява се оптимално време на задържане - 8 h , при което депластификацията протича със скорост $0,8\text{ mm/h}$ при подаване на реагент в количество $35 \div 40\text{ ml/h}$ до достигане на загуба на маса $7,25\%$.
3.2. Разрушаване на повърхностния слой – частично или пълно (фиг. 3, фиг. 4)	Висока времева концентрация на реагента, при която той влиза в течна фаза в камерата на пещта. Недостатъчно подаване на инертен газ. Наличие на пригар, получен при етап 2.	В камерата се подава постоянно количество азотна киселина ($35 \div 40\text{ ml/h}$) и инертен газ (500 l/h).
3.3. Разслояване на заготовките - отделяне на повърхностния слой от сърцевината (дърво-видна структура в напречно сечение - фиг. 2)	Висока времева концентрация на реагента, при която той влиза в течна фаза в камерата на пещта, и депластификацията протича с висока скорост. Недостатъчно подаване на инертен газ. Неоптимален вакуум. Прекъсване на процеса и повторно стартиране, при което се нарушава температурният баланс на системата. Различна плътност в обема на заготовката.	Подаване на реагент в количество $35 \div 40\text{ ml/h}$; Подаване на инертен газ - 500 l/h . Установява се оптимален за протичане на процеса вакуум - $80 \div 93\text{ kPa}$. Осигурява се непрекъсваемост на процеса до достигане на крайна депластификация при температура 120°C .
Етап 4		
4.1. Пукнатини и разрушаване на заготовките (фиг. 5)	Неправилно избран режим на синтероване – температура; скорости на нагряване и на охлаждане.	Определят се целесъобразни стойности на температурата на синтероване (1250°C) и на скоростите на нагряване и охлаждане (съответно 5°C/min и 10°C/min). Провеждат се задържащи етапи на пред-синтероване - 1 h на 600°C и на 900°C .

Таблица 1

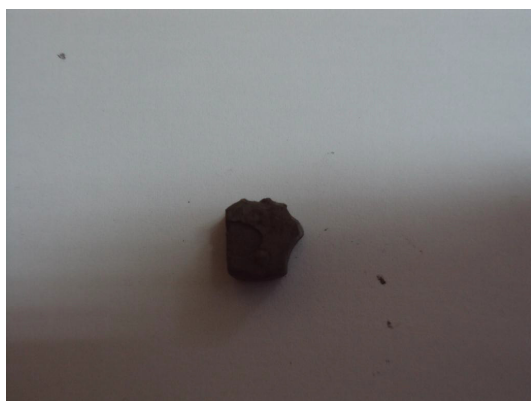
1	2	3
	Неправилно установяване на заготовките. Наличие на разслояване при етап 3.	
4.2. Нарушен химичен състав	Недостатъчна степен на депластификация. Повишена температура при синтероване. Неправилно подаване на инертен газ. Използване на замърсен инертен газ.	Заготовките се обработват при уточнените режими на депластификация (аналогични на тези в т. 3.1 ÷ 3.3) и правилно избрано подаване на инертен газ – азот, с чистота 99,985%.



Фиг. 1. Газова шупла



Фиг. 2. Разслояване на заготовката



Фиг. 3. Разрушаване на повърхностния слой



Фиг. 4. Разрушаване на структурата



фиг. 5 Разслояване след синтероване

последователност, т.е. необходимо е комплексното им изследване.

На *фиг. 6* са представени връзките между дефектите, проявени при отделните етапи от технологичния процес за изработване на заготовки от инструментален материал *Catamold M2*.

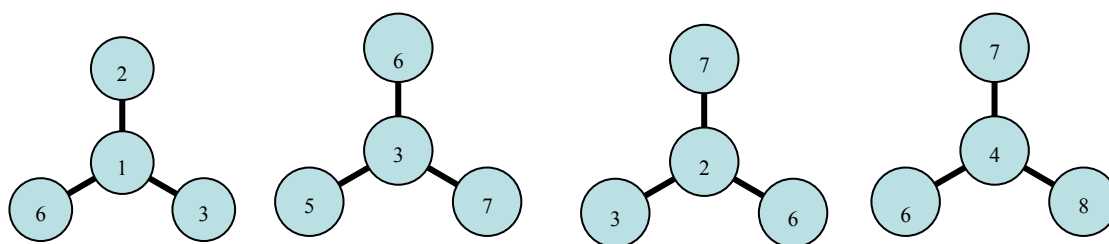
ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изследвани са и са систематизирани основните дефекти, получени при обработване на инструментален материал *Catamold*

M2 DIN SC 6-5-1.3342 по метода на инжекционно формоване. Определени са корелационните връзки между тях и е доказано, че няма изолирани дефекти.

Анализирани са причините за различните дефекти след всеки от етапите на МІМ-технологията и са предложени начини за отстраняването им.

Предложени са работни режими за реализация на всеки от етапите на технологичния процес – сушене на материала, инжекционно формоване, депластификация и синтероване (таблица 1), при спазване на които могат да се получат инструментални заготовки с висока твърдост и плътност.



Фиг. 6. Корелационни връзки между дефектите

1. Влага в материала; 2. Газови шупли; 3. Различна плътност в обема на заготовката; 4. Недостатъчна загуба на маса; 5. Разрушаване на повърхностния слой; 6. Разслояване на заготовките; 7. Пукнатини и разслояване на детайлите; 8. Нарушен химичен състав

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Александрова, И., К. Анастасов. Относно възможностите за приложение на метода инжекционно формоване в инструменталното производство. МНК УНИТЕХ'10, Габрово, 19-20.11.2010.
- [2] Бабушкин, Г.А., В.Я. Буланов, И.А. Синиций. Металлические композиты. Свредловск, 1987.
- [3] Жеков, Г.К. Технология на инструменталното производство. София, ВМЕИ София, 1980.
- [4] Менгес, Г., В. Микаэли, П. Морей. Как делать литые формы. Санкт-Петербург, Професия, 2006.
- [5] Ненков, Н.Г., И.С. Александрова. Технология на инструменталното производство. Габрово, ПБ на ТУ - Габрово, 1996.
- [6] Освальд, Т., Л.Ш. Тунг, П. Дж. Грэмман. Литые пластмассы под давлением. Санкт-Петербург, Професия, 2006.
- [7] Фирмени данни за материал Catamold M2 на фирма BASF.

[8] http://www.reccotek.com/web/mim_en.php

[9] <http://www.manufacturelink.com.au/news/view/metal-injection-moulding.aspx>

Изследванията, обект на настоящата разработка, са финансирани по Договор № BG051PO001-3.3.04/28 на тема “Подкрепа за развитие на научните кадри в областта на инженерните научни изследвания и иновациите”, финансиран по схема “Подкрепа за развитие на докторанти, постдокторанти, специализанти и млади учени” на ОП “Развитие на човешките ресурси” на “Европейския социален фонд”.



МИНИСТЕРСТВО
НА ОБРАЗОВАНИЕТО,
МЛАДЕЖТА И НАУКАТА

ЕВРОПЕЙСКИ СОЦИАЛЕН ФОНД
РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ
МИНИСТЕРСТВО НА ОБРАЗОВАНИЕТО, МЛАДЕЖТА И НАУКАТА
ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА “РАЗВИТИЕ НА ЧОВЕШКИТЕ
РЕСУРСИ”

