

Оптимизация процесса литья под давлением при изготовлении деталей из термопластичных материалов, используемых в нефтепромысловых оборудовании

Н.А. Гасанова, д.ф.т.н.
Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности

e-mail: gunaycabirqizi@mail.ru

Ключевые слова: оптимизация процесса, термопластичные материалы, показатели качества, вектор выходных переменных, вектор входных переменных.

DOI.10.37474/0365-8554/2021-12-38-41

Neft-mədən avadanlıqlarında termoplastik materiallardan olan detalların optimal hazırlanma prosesi

N.A. Həsənova, t.ü.f.d.
Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti

Açar sözlər prosesin optimallaşdırılması, termoplastik materiallar, keyfiyyət göstəriciləri, çıxış dəyişənlərin vektoru, giriş dəyişənlərin vektoru

Məqələdə neft-mədən avadanlıqlarında işləyən termoplastik materiallardan olan hissələrin hazırlanması prosesinin optimallaşdırılmasından bəhs olunur. Termoplastik materiallardan hazırlanmış detalların keyfiyyətinin texnoloji rejimlərdən asılı olaraq bəyənilməsi məsələsinə baxılmışdır. Çoxdölçülü dəyişənlərin tənzimlənməsi ilə keyfiyyətin artırılması yolları bəyənilmiş, nəticədə optimal tərkib və hazırlanma rejimləri təsdiq edilmişdir.

Optimization of casting process under the pressure in production of thermoplastic details used in oil field equipment

N.A. Hasanova, PhD in Tech. Sc.
Azerbaijan State University of Oil and Industry

Keywords: process optimization, thermoplastic details, quality parameters, vector of output and input variables.

The paper reviews the optimization process during production of thermoplastic details used in the oil field equipment. The issue of studying the quality of thermoplastic details in the view of technological regimes is considered. The methods of quality improvement of the details operated in the oil field equipment are studied by regulating a great amount of variables, their optimum composition and preparation regimes justified as well.

Из анализа процессов, происходящих при литье под давлением деталей из термопластичных материалов, следует, что в настоящее время они описываются в основном качественными закономерностями. С позиции оптимального управления качеством и точностью производства необходимы количественные закономерности, учитывающие действие многочисленных внешних и внутренних факторов. Следовательно, для получения деталей из термопластичных материалов, используемых в нефтепромысловых оборудовании с заданной точностью необходимо решение сложной многофакторной задачи, связанной с определением оптимальных условий проведения технологического процесса, т.е. получением определенной математической модели.

Во многих практических задачах обеспечения качества изделий в процессе изготовления оптимизация лишь по одному показателю качества недостаточна. В настоящее время все более остро ставятся требования оптимизации при одновременном учете двух или более показателей, что приводит к задаче оптимизации с векторным критерием качества [1]. В нашем исследовании, зависимости критериев качества режимных факторов представлены в следующем виде:

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i x_i + \sum_{i=1}^n a_{ij} x_{ij} + \sum_{i=1}^n a_i x_i^2 + \dots \quad (1)$$

Значения постоянных коэффициентов, входящих в математические модели (1) представлены в таблице.

	$S_y=f(x_i)$	$\rho=f(x_i)$	$R_a=f(x_i)$	$HB=f(x_i)$	$\sigma_p=f(x_i)$
b_0	0.69925	1045.988	0.92221	80.52796	43.90526
b_1	-0.06219	0.31108	-0.05261	0.18909	0.36263
b_2	-0.01169	0.42508	-0.06912	0.12155	0.63627
b_3	-0.02277	0.36568	0.03124	0.14756	0.29185
b_4	0.09851	0.99839	-0.09470	0.29944	0.12441
b_5	-0.09814	0.14128	0.04856	0.55658	0.50570
b_{11}	0.05715	-0.19466	0.03911	0.03452*	-1.38076
b_{22}	0.00906	-0.17765	0.06201	0.81603	1.68989
b_{33}	0.01789	-0.56762	0.02929	0.82846	0.01356*
b_{44}	0.01920	-0.17307	-0.00064*	0.02692*	-1.20802
b_{55}	0.01462	-0.46293	0.08491	0.35605	-0.45491
b_{12}	0.00463	0.45848	-0.03359	0.02715*	0.18223
b_{13}	-0.00963	0.71109	0.04609	-0.42020	-0.17078
b_{14}	0.00045*	0.21515	0.03567	0.03264*	0.02931*
b_{15}	0.00094	-0.07203	-0.03880	-0.20145	-0.01752*
b_{23}	0.00265	-0.28442	0.00078*	0.43197	0.01692*
b_{24}	-0.00723	-0.16432	0.02317	0.02692*	0.35546
b_{25}	0.00432	0.34578	0.01953	-0.39427	0.22140
b_{34}	-0.00869	0.03475*	0.00024*	0.22166	0.45348
b_{35}	0.00013*	0.24046	0.06380	0.01354	-0.21828
b_{45}	0.00442	0.02691	-0.01536	-0.33208	-0.16723

* – незначимые коэффициенты.

Для процессов изготовления пластмассовых деталей это требование может быть учтено некоторым набором целевых функций, т.е. показателей качества, которые и образуют векторный критерий качества – векторную функцию цели

$$K = \bar{F}(y_i) \quad i = 1, 2, 3, 4, 5. \quad (2)$$

Технологическая структура исследуемого процесса может быть представлена векторами выходных и входных переменных, составляющих координатное пространство:

а) вектор выходных переменных $\{y_1, y_2, y_3, y_4, y_5\}$

$y_1 = S_b$ (усадка материала, %); $y_2 = \rho$ (плотность); $y_3 = R_a$ (шероховатость поверхности); $y_4 = HB$ (твердость по Бринеллю); $y_5 = \sigma_p$ (предел прочности при растяжении);

б) вектор входных переменных $\{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5\}$

$x_1 = p$ (давление литья, кг/см²); $x_2 = t_g$ (температура расплава в цилиндре, 0 °C); $x_3 = t_0$ (температура литья, 0 °C); $x_4 = T_{\phi}$ (температура формы, 0 °C); $x_5 = T_n$ (температура цилиндра, 0 °C).

Задача состоит в определении таких технологических параметров x_i , при которых показатели качества принимают наилучшие значения

$$y(x_i) \rightarrow opt. \quad (3)$$

Сформулированная выше многокритериальная задача оптимизации процесса изготов-

ления пластмассовых деталей представляет собой задачу векторной оптимизации, процесса, являющегося многоцелевой задачей нелинейного программирования, которая решается методом определения "идеальной точки" в нормированном пространстве [2, 3].

Чтобы выделить преимущества выбранного метода рассмотрим в общих чертах существующие методы векторной оптимизации. Методы решения задач векторной оптимизации, в основном можно разбить на следующие группы:

- оптимизация иерархической последовательности критериев;
- определение множества неулучшаемых точек;
- определение решения, основанного на том или ином виде компромисса.

К первой группе относятся задачи, основанные на оценке и сравнении предпочтительности отдельных критериев, в результате чего вводится упорядочение скалярных критериев, т.е. порядок предпочтения.

Решать практические задачи оптимизации по упорядоченным совокупностям критериев или исходя из системы приоритетов весьма сложно. Такие методы становятся малоэффективными для решения практических задач, потому что из-за давления наиболее важного критерия на остальные, приходят к оптимизации лишь по первому критерию.

Для решения второй группы определяется множество неулучшаемых точек. Точка $x \in X$

называется неувлучшаемой в пространстве X относительно критерия $\bar{J}(x)$, если среди всех $x \in X$ не существует такой точки x^0 , то имеет место $J_\alpha(x^0) \leq \bar{J}_\alpha(x^0)$, $\alpha = 1, 2, \dots, R$, причем хотя бы одно из неравенств строгое. Определение такого множества приводит к сужению Парето-области. Однако трудности возникают при определении множества неувлучшаемых точек и при выборе единственного решения. Поэтому часто во многих практических ситуациях целесообразно применение человеко-машинных процедур.

В последнее время все больше работ относятся к третьей группе. В этих работах первоочередной задачей является выделение области компромиссов, в которой решение определяется на основе того или иного вида компромисса. В указанных задачах для выбора единственного решения вводится дополнительная эвристика. Такой эвристикой для метода, в котором выбор критериев заменяется сверткой – одним критерием, называемым интегральным, является учет различных важностей критериев [4].

Дополнительной эвристикой для выбора единственного решения в нашем случае являются весовые коэффициенты α , предпочтений, определяющие степень важности каждого из критериев.

Обычно эти коэффициенты удовлетворяют следующим условиям

$$\alpha_i > 0; \sum_{i=1}^{\ell} \alpha_i = 1, \quad (4)$$

где ℓ – число критериев (показателей качества) в векторной задаче (2).

В результате решения задачи методом “идеальной точки” получают значения целевых функций, максимально близкие к их наилучшим значениям. Для выбранных критериев $y(x)$ определяются решения \bar{x}_i , которые обеспечивают целевым функциям супремумы $y_i(\bar{x}_i) = y_i'$. Затем производится нормирование критериального пространства: видно, что координаты идеальной точки

$$R_i(\bar{x}_i) = \alpha_i \left(\frac{y_i' - \hat{y}_i}{y_i'} \right)^2 = \alpha_i \left(1 - \frac{\hat{y}_i}{y_i'} \right)^2, \quad (5)$$

в которой функции цели одновременно достигают значений, которые можно определить из условия $R_i(x_i) = 0$. Следовательно, необходимо найти точку, которая будет максимально приближена по координатам к идеальной точке, т.е. добиться минимизации совокупности от-

клонений от $\frac{R_i(x)}{\min R_i^2(x)}$. Поэтому выбираем квадратичный функционал на нормированной поверхности функций цели

$$R^2 = \sum_{i=1}^{\ell} \alpha_i \left(\frac{y_i' - \hat{y}_i}{y_i'} \right)^2, \quad (6)$$

позволяющий определить такие параметры, при которых функции цели $y_i(x)$ максимально приближены к идеальному решению y_i' .

Минимизация квадратичного функционала дает возможность получить оптимальное решение

$$R^2 = \sum_{i=1}^{\ell} \alpha_i \left(\frac{y_i' - \hat{y}_i}{y_i'} \right)^2 \rightarrow \min, \quad (7)$$

где \hat{y}_i – значения функций цели, определяемые уравнением регрессии (1); y_i' – экстремумы функций цели, полученные однокритериальной оптимизацией по “комплекс-методу”.

Особенностью решаемой задачи является возможность упорядочения выбранных критериев – показателей качества по степени важности. Результаты решения поставленной задачи при условии, что степень важности каждого из выбранных показателей одинакова, т.е. $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = \alpha_5$. Здесь решения задачи однокритериальной оптимизации по каждому из показателей качества в отдельности (по максимизации плотности, твердости и разрушающего напряжения при растяжении и по минимизации усадки и шероховатости поверхности) [5, 6].

Анализ результатов, приведенных в таблице, подтверждает правильность сделанного выбора критериев качества. Как видно, значение каждого показателя при определении его экстремума в случае однокритериального подхода лучше, чем в случае векторной оптимизации, но при оценке качества как комплекс показателей очевиден получаемый эффект.

На основе полученных результатов можно утверждать, что для повышения стабильности показателей качества деталей при эксплуатации необходимо:

- повысить давление и температуру цилиндра и снизить время выдержки в форме при изготовлении деталей из аморфного АБС-пластика;
- повысить температуру формы и цилиндра при изготовлении деталей из кристаллических полиамида и полипропилена;
- снизить давление при изготовлении деталей из сильно кристаллического полипропилена.

Как уже указывалось, даже из краткого описания видно, что процесс изготовления пластмассовых деталей – это сложный объект с большим количеством связанных между собой входных параметров. Особенность этого процесса – работа на различных технологических режимах. При определении эффективности технологического процесса изготовления пластмассовых деталей с учетом всех изменений и ограничений параметров выявляются

резервы её увеличения за счет замены режима работы на оптимальный, в результате чего повышается качество изготовления.

Результаты решения задачи оптимизации процесса подтверждают наличие резервов и показывают возможность повышения качества пластмассовых деталей нефтепромыслового оборудования, что подтверждается практически их внедрением в производство.

Список литературы

1. Керимов Д.А. Научные основы и практические методы оптимизации показателей качества пластмассовых деталей нефтепромыслового оборудования: дис. докт. техн. наук. – Баку: АЗИНЕФТЕХИМ им. М.Азизбекова, 1985.
2. Брагинский В.А. Точное литье изделий из пластмасс. – Л.: Химия, 1977, 127 с.
3. Салукавадзе М.Е. Задачи векторной оптимизации в теории управления. – Тбилиси: Медниереба, 1975, 202 с.
4. Озерной В.М. Принципы построения и использования многокритериальных моделей задач принятия решений: в кн. “Проблемы принятия решения”, 1974, вып. 5, с. 3-15.
5. Зак Ю.Р. Модели и методы построения компромиссных планов и задач математического программирования с несколькими целевыми функциями // Кибернетика, 1972, № 4, с. 102-107.
6. Gasanova N.A. Experimental study of quality of plastic details of the oil field equipment, 2021, pp. 20-23.

References

1. Kerimov D.A. Nauchnye osnovy i prakticheskie metody optimizatsii pokazateley kachestva plastmassovykh detaley neftepromysloвого oborudovaniya: dis. dokt. tekhn. nauk. – Baku: AZINEFTEKHIM im. M. Azizbekova, 1985.
2. Braginskiy V.A. Tochnoe lit'yo izdeliy iz plastmass. – L.: Khimiya, 1977, 127 s.
3. Salukavadze M.E. Zadachi vektornoy optimizatsii v teorii upravleniya. – Tbilisi: Medniereba, 1975, 202 s.
4. Ozernoy V.M. Printsipy postroyeniya i ispol'zovaniya mnogokriterial'nykh modeley zadach prinyatiya rezhima: v kn. “Problemy prinyatiya resheniya”, 1974, vyp. 5, s. 3-15.
5. Zak Yu.R. Modeli i metody postroyeniya kompromisnykh planov i zadach matematicheskogo programmirovaniya s neskol'kimi tselevymi funktsiyami // Kibernetika, 1972, No 4, s. 102-107.
6. Gasanova N.A. Experimental study of quality of plastic details of the oil field equipment, 2021, pp. 20-23.