

APPLICATION OF A GENETIC ALGORITHM FOR MULTI-CRITERIA OPTIMIZATION OF COMPOSITE PRESSING

Aleksander Zalazinskiy, Dmitry Dvoynikov, Vladimir Titov

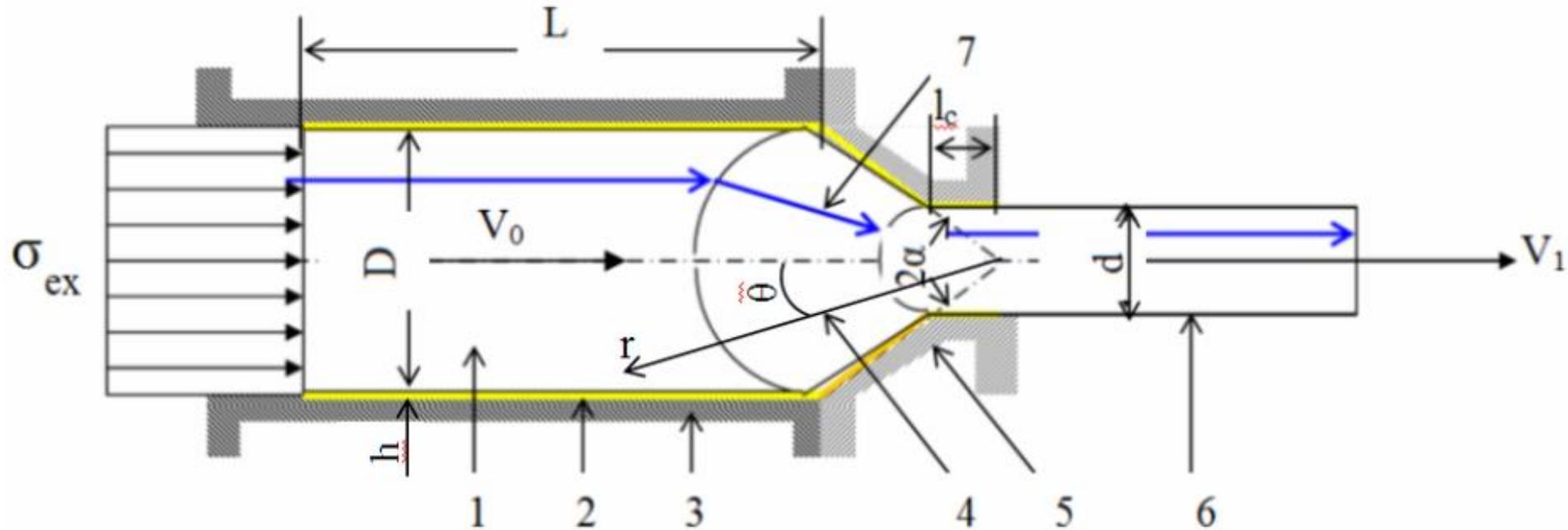
ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ПРЕССОВАНИЯ КОМПОЗИТА

А.Г. Залазинский, Д.А. Двойников, В.Г. Титов

Институт машиноведения УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

- Цель исследования: с использованием методов многокритериальной оптимизации определить рациональные параметры выдавливания металломатричного композита Nb-Ti+Cu технологического процесса гидромеханического прессования по критериям качества выдавленных заготовок: минимальных напряжения выдавливания, поврежденности деформируемого материала, неоднородности выдавленных заготовок
- Объект исследования - провод для обмоток мощных электромагнитов из металломатричных композиционных материалов (Nb-Ti)+Cu (волокна сплава Nb-Ti равномерно распределены в медной матрице), обладающий низкотемпературной сверхпроводимостью

Схема деформации заготовки при прессовании прутка в конической матрице



- Исходные размеры заготовок: диаметр $D = 20$ мм, длина $L = 60$ мм

1 - заготовка; 2 - вязкопластическое покрытие;

3 - контейнер; 4 - очаг деформации;

5 - матрица; 6 - выдавленная часть заготовки;

7 - линия тока частицы деформируемого материала

Результаты вычислительных экспериментов

№	Варьируемые факторы			Критерии качества		
	Вытяжка λ	Угол матрицы α , град.	Коэффициент трения f	Напряжение прессования \bar{P}	Показатель поврежденности ω	Неоднородность деформации η
1	10	30	0,3	5,314 (0,796)	0,029 (0,744)	1,290 (0,690)
2	10	45	0,2	4,757 (0,713)	0,030 (0,769)	1,502 (0,804)
3	10	60	0,1	4,388 (0,657)	0,034 (0,872)	1,869 (1,000)
4	20	30	0,1	4,536 (0,679)	0,032 (0,821)	1,223 (0,654)
5	20	45	0,2	5,514 (0,826)	0,033 (0,846)	1,385 (0,741)
6	20	60	0,3	6,418 (0,961)	0,036 (0,923)	1,668 (0,893)
7	30	30	0,3	6,676 (1,000)	0,034 (0,872)	1,196 (0,640)
8	30	45	0,2	5,957 (0,892)	0,036 (0,923)	1,340 (0,717)
9	30	60	0,1	5,516 (0,826)	0,039 (1,000)	1,588 (0,850)

Критерии качества в нормированном виде $\hat{p}, \tilde{\omega}, \tilde{\eta}$ в диапазоне [0; 1] при условиях $\bar{p}_{max} = 6,676; \omega_{max} = 0,039; \eta_{max} = 1,869; \bar{p}_{min} = \omega_{min} = \eta_{min} = 0$

Регрессионная модель (коэффициент детерминации $R^2 = 0,978 \div 0,996$):

$$\tilde{p} = 0,012\lambda + 0,028\alpha - 1,878f - 8 \cdot 10^{-5}\lambda^2 - 2,883 \cdot 10^{-4}\alpha^2 + 7,436f^2$$

$$\tilde{\omega} = 6,833 \cdot 10^{-3}\lambda + 0,056\alpha - 6,336f\lambda^2 - 5,812 \cdot 10^{-4}\alpha^2 + 15,677f^2$$

$$\tilde{\eta} = -0,013\lambda + 0,064\alpha - 6,931f + 2,08 \cdot 10^{-4}\lambda^2 - 6,14 \cdot 10^{-4}\alpha^2 + 17,197f^2$$

Обобщенный критерий качества технологического процесса

$$F = \sqrt{k_1\hat{p}^2 + k_2\tilde{\omega}^2 + k_3\tilde{\eta}^2},$$

где k_1, k_2, k_3 – весовые коэффициенты

Поиск **минимального значения критерия качества** технологического процесса положен методом "идеальной точки" с использованием генетического алгоритма:

$$Z = \min F(\lambda, \alpha, f)$$

Базовая схема генетического алгоритма



- Начальная популяция: $N = 9$
- Гены: λ, α, f
- Функция приспособленности – F
- Отбор наилучших хромосом (принято $N=4$)
- Мутации наихудших хромосом ($N=6$; λ, α, f в пределах 0,5 – 15%)

Решение (кол-во циклов – 20):

вытяжка $\lambda = 10$

угол конуса матрицы $\alpha = 30^\circ$

Заключение

- В работе на примере исследования процесса гидромеханического прессования биметаллического электропроводящего композита системы Nb-Ti+Cu, используемого для изготовления обмоток мощных электромагнитов энергетических комплексов, предложена методология многокритериального выбора рациональных значений технологических параметров.
- В результате многокритериальной оптимизации исследуемого процесса обеспечивается компромиссное решение задач минимизация усилия прессования, неоднородности деформированного состояния и повреждённости изделий заготовительного производства металломатричных композитов волокнистого строения. Выполненное исследование открывает новые возможности для совершенствования процессов обработки давлением композиционных материалов.

Библиографический список

- 1. Metallurgy of superconducting materials. New York, San Francisco and London, ACADEMIC PRESS, 1979, 457 p.
- 2. Johnson W., Kudo H. The Mechanics of Metal Extrusion. Manchester University Press, 1962, 226 p.
- 3. Avitzur B. Hydrostatic extrusion. *ASME J Eng Ind*, 1965, pp. 487–494.
- 4. Byon S.M., Hwang S.M. Die shape optimal design in bimetal extrusion by the finite element method. *J. Mater. Process. Technol.*, 1997, 67, pp. 24–28.
- 5. Hwang Yeong-Man, Hwang Te-Fu. An investigation into plastic deformation behavior within a conical die during composite rod extrusion. *J. Mater. Process. Technol.*, 2002, 121, pp. 226–233.
- 6. Kang C.G., Jung Y.J., Kwon H.C. Finite element simulation of die design for hot extrusion process of Al/Cu clad composite and its experimental investigation. *J. Mater. Process. Technol.*, 2002, 124, pp. 49–56.
- 7. Hongbo Y., Yinghong P., Xueyu R., Mingxia L. A finite element model for hydrodynamic lubrication of cold extrusion with frictional boundary condition. *J. Mater. Process. Technol.*, 2005, 161, 330, pp. 440–444.
- 8. Колмогоров В.Л. Напряжения, деформации, разрушение. – М.: Металлургия, 1970. – 230 с.
- 9. Гидропрессование труднодеформируемых металлов и сплавов / Колмогоров Г.Л., Михайлов В.Г. Барков Ю.А., Карлинский В.А. – М.: Металлургия, 1991. – 140 с.
- 10. Савицкий Е.М., Ефимов Ю.В., Кружняк Я.М. Физико-химические основы получения сверхпроводящих материалов. – М.: Металлургия, 1981. – 479 с.
- 11. Залазинский А.Г. Пластическое деформирование структурно-неоднородных материалов. – Екатеринбург: ИМАШ УрО РАН, 2000. – 491 с.
- 12. Composite materials. V.2: Mechanical composite materials. New York and London, ACADEMIC PRESS, 1974, 503 p.
- 13. Baque P., Pantin J., Jacob G. Theoretical and experimental study of the glass lubricated extrusion process. *J. Lubr. Tech. Trans. ASME*, 1975, pp. 18–24.
- 14. Byvaltsev S.V., Zalazinskiy A.G., Polyakov A.P. Experimental and analytical method of calculation of the composite damage during extrusion. *Russian Journal of Non-Ferrous Metals*, 2008, v. 49, no. 4, pp. 241–246.
- 15. Zalazinskiy A.G., Polyakov A.P., Polyakov P.A. A system simulation of a production complex for fabrication of composites for electrotechnology. *Russian Journal of Non-Ferrous Metals*, 2009, v. 50, no. 3, pp. 255–261.
- 16. Крючков Д.И., Залазинский А.Г. Гибридный моделирующий комплекс для оптимизации процесса прессования неоднородных материалов / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. RU № 2014615774. Опубликовано 20.06.2014.
- 17. Залазинский А.Г., Титов В.Г. Экспертная система для совершенствования процессов изготовления композитов / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. RU № 2019615596. Дата гос. регистрации в Реестре программ для ЭВМ. 30.04.2019.
- 18. Zalazinskiy A.G., Shveykin V.P., Titov V.G. The expert system for improving the technological processes of composite manufacturing. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 2020, 709 044115.
- 19. Многокритериальная оптимизация методом «идеальной точки» состава сырья для изготовления композитной заготовки / В.Г. Титов, А.Г. Залазинский, Д.И. Крючков, А.В. Нестеренко // Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. – 2019. – № 2. – С. 49–56.
- 20. Дрейпер Н.Р., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. – М.: Диалектика, 2007. – 911 с.
- 21. Odu G.O., Charles-Owaba O.E. Review of multi-criteria optimization methods – theory and applications. *IOSR Journal of Engineering*, 2013, 3(10), pp. 1–14.
- 22. Рутковская Д., Пилинский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. – М.: Горячая линия – Телеком, 2008. – 383 с.
- 23. Вирсански Э. Генетические алгоритмы на Python. – М.: ДМК Пресс, 2020. – 286 с.
- 24. Двойников Д.А., Залазинский А.Г., Титов В.Г. NMP GA 1 / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RU № 2021667503, 19.10.2021. Дата гос. регистрации в Реестре программ для ЭВМ 29.10.2021.