

Клапоушак Оксана Ігорівна, кандидат технічних наук, асистент, кафедра інформаційно-телекомунікаційних технологій та систем, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, Україна, 76019
E-mail: oksana_kl@meta.ua

УДК 621.74

DOI: 10.15587/2313-8416.2016.70356

ВЫБОР КРИТЕРИЕВ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ВОЗМОЖНОСТИ ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ СПЕЦСПЛАВОВ НА ПРИМЕРЕ НИМОНИКА

© Е. П. Дымко, Д. В. Мариненко, С. В. Борисенко, Н. В. Кравцова

На основе математического моделирования проведено исследование предела длительной прочности нимоника, позволяющее определить её величину при различных температурах и времени испытания. Предложен критерий для проверки возможности взаимозаменяемости спецсплавов на примере нимоника. Данный критерий основан на параметрическом описании зависимости исследуемого свойства от множителя Лагранжа и позволяет найти его субоптимальные значения в исследованной области входных переменных

Ключевые слова: цветные сплавы, нимоник, нечеткая кластеризация, гребневой анализ

Research of nimonic long-term strength, which allows determining its value at different temperatures and the test of time are conducted on the basis of mathematical simulation. Criterion for interchangeability verification of special alloys on the example of nimonic is proposed. This criterion is based on a parametric description of the test property depending on the Lagrange multiplier and allows finding its suboptimal values in the investigated range of input variables

Keywords: non-ferrous alloys, nimonic, fuzzy clustering, ridge analysis

1. Введение

Цветные сплавы находят широкое применение в передовых отраслях промышленности: авиационной, приборостроительной, космическом машиностроении. Для деталей, работающих в составе узлов таких машин, требуются специальные свойства: жаростойкость, жаропрочность, сопротивление ползучести и прочие специальные высокие механические свойства. При этом характерными требованиями к ним являются минимальные массовые характеристики и высокая плотность. В большинстве своем такие детали производят с помощью литейных технологий, среди которых – практически все спецвиды литья. Понятно, что от качества изготовления соответствующих отливок зависит и качество получаемых после механической обработки деталей. Если же механическая обработка не применяется, то качество целиком формируется на этапе изготовления литой детали. Поэтому исследования, посвященные формированию свойств цветных сплавов спецназначения для ответственных отливок являются актуальными.

2. Анализ литературных данных

Среди исследований, выполняемых в Украине и посвященных вопросам изготовления качественных литых деталей из цветных сплавов, преобладают работы, посвященные выявлению функциональных взаимосвязей между технологическими параметрами литья и заданными свойствами. Примерами могут быть работы [1–3], посвященные вопросам формирования качества непрерывнолитых заготовок, работы [4–6], посвященные оптимизации процессов заливки в кокили специальных конструкций,

работа [7], в которой изложена концепция формирования качества литой детали, изготавливаемой по выплавляемым моделям, в функции качества предшествующих технологических операций изготовления восковых моделей. Все эти отечественные разработки требуют сравнения с передовыми мировыми аналогами, в первую очередь для того, чтобы понять, насколько возможна взаимозаменяемость между соответствующими цветными сплавами. Ответ на этот вопрос интересен с практической точки зрения, так как может помочь в максимальном использовании отечественных сплавов без необходимости приобретения зарубежных аналогов.

3. Цель и задачи исследования

Целью работы являлся выбор критерия для сравнения свойств нимоника импортного и отечественного производства.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

– построить математическую модель, описывающую зависимость предела длительной прочности нимоника 95 отечественного производства в зависимости от условий его эксплуатации;

– описать возможное решение задачи поиска максимума предела длительной прочности в выбранной области эксплуатационных условий.

3. Экспериментальные данные и методика их обработки

Известно, что впервые сплавы на никелевой основе были разработаны фирмой «Монд Никель» на основе нихрома 80–20. Введение в сплав 1,8–2,7 % Ti

и 0,5–1% Al заметно повысило его сопротивление ползучести. Известно несколько марок сплава, получившего название «нимоник», используемого для лопаток реактивных двигателей самолетов, а также сплавы на кобальтовой основе типа «виталлиум», применяемые в США [8].

В табл. 1 приведены результаты эксплуатационных испытаний сплава нимоник 95, проведенные в следующей области: температура (x_1) составляет (750–870) °С, интервал времени эксплуатации (x_2) составил (100–1000) ч [8].

Таблица 1
Результаты экспериментальных эксплуатационных испытаний предела длительной прочности нимоника 95

Температура, °С	Предел длительной прочности, кг/мм ² при времени эксплуатационного испытания, ч	
	100	1000
750	32,9	22,4
815	18,9	11,9
870	12,6	7,7
925	7,0	3,1

Таблица экспериментальных данных представляет собой описание плана пассивного эксперимента, близкого к ортогональному. Это видно из данных для входных переменных. Действительно, если попытаться построить ортогональный центральный композиционный план второго порядка, например по методике, изложенной в работе [9], то для обеспечения условия ортогональности необходимо иметь следующие значения выходной переменной для среднего уровня: $T=837,5$ °С и $t=550$ ч. Так как такие данные отсутствуют, можно использовать приблизительную оценку выходной переменной на основе использования методов кластеризации, причем учитывая фактор неопределенности входных переменных заданием их функциями принадлежности специального типа [10]. В этом случае становится возможным на основании приблизительной оценки реализовать, по фактически имеющимся данным пассивного эксперимента, ортогональный центральный композиционный план второго порядка. Для наглядности, например, можно показать, что реальное среднее значение для входной переменной x_1 по данным пассивного эксперимента составляет 840 °С, т. е. относительная погрешность в определении температуры от значения, соответствующего необходимой координате точки для ортогонального плана, составляет всего лишь 0,3 %.

Применением численного моделирования с помощью встроенного пакета Microsoft Excel получена математическая модель в виде:

$$y = 15,17 - 11,31x_1 - 3,4x_2 + 3,33x_1^2 - 0,24x_2^2 + 1,65x_1x_2. \quad (1)$$

4. Обсуждение результатов и выбор критерия сравнения

Для выбора критерия сравнения, необходимо для ответа на вопрос о взаимозаменяемости никоника отечественного и импортного производства, необходим анализ полученной математической модели с целью определения оптимальных по критерию максимума длительной прочности входных переменных. Это даст возможность ответить на вопрос о реальной стойкости никоника при оптимальных значениях входных переменных в реальных условиях эксплуатации. Для этого применена методика гребневого анализа, описанная в работе [11]. Получение критерия сравнения в этом случае имеет вид параметрического описания полученной математической модели, параметром в котором является множитель Лагранжа λ :

$$\begin{cases} x^*(\lambda) = (\lambda I - A)^{-1} a, \\ r(\lambda) = \sqrt{x^* x^*}, \\ y^*(\lambda) = a_0 + 2a' x^* + x^* A x^*, \end{cases} \quad (2)$$

где $a_0=15,17$, $a = \begin{pmatrix} -5,655 \\ -1,7 \end{pmatrix}$, $A = \begin{pmatrix} 3,33 & 0,825 \\ 0,825 & -0,24 \end{pmatrix}$ –

коэффициенты полученной математической модели в каноническом виде описания поверхности отклика, λ – собственные числа матрицы A , $x^*(\lambda)$ – оптимальные значения входных переменных, $r(\lambda)$ – радиус-вектор, описывающий положение оптимальной точки с координатами (x_1^* , x_2^*) в факторном пространстве, $y^*(\lambda)$ – оптимальные значения выходной переменной (предел длительной прочности).

Решение уравнения $|A - \lambda I = 0|$ дает два значения собственных чисел λ из диапазона $-\infty < \lambda < +\infty$, обеспечивающие субоптимальные значения выходной переменной. Сравнение с показателями прочности иностранных производителей для никоника 75 показывает, что при температуре 760 °С прочность составляет 6 кг/мм², а при температуре 925 °С – 1,5 кг/мм² [12]. Субоптимальные значения исследуемого никоника составили в 2 раза больше. Вероятным улучшением характеристик является специальная термическая или химико-термическая обработка [13–15], имеющая целью управление формированием микроструктуры таким образом, чтобы при равных условиях эксплуатации обеспечивался максимум предела длительной прочности. Однако в любом случае в качестве критерия для сравнения может быть использован предложенный критерий определения субоптимальных значений исследуемой выходной характеристики сплава на основе параметрического описания математической модели в функции условий эксплуатации сплава.

5. Выводы

Предложенный критерий для сравнения цветных сплавов специального назначения, на примере никоника, основан на параметрическом описании математической модели предела длительной прочно-

сти в зависимости от условий эксплуатации сплава, в котором в качестве параметра выступает множитель Лагранжа. Полученные при этом гребневые линии, описывающие значения выходной переменной в зависимости от множителя Лагранжа или радиус-вектора в факторном пространстве, позволяют определить субоптимальные значения на допустимой границе эксплуатационных условий, характерных для данного сплава.

Литература

1. Хорошилов, О. Н. Повышение качества непрерывнолитых заготовок из медных сплавов [Текст] / О. Н. Хорошилов, О. И. Пономаренко, А. В. Кипенский, В. В. Наний // *Металлургия машиностроения*. – 2012. – № 12. – С. 29–31.

2. Бреславский, Д. В. Управление качеством непрерывно литых заготовок [Текст] / Д. В. Бреславский, О. Н. Хорошилов, О. И. Пономаренко // *Вісник ДДМА*. – 2010. – № 3 (20). – С. 41–46.

3. Хорошилов, О. Н. Исследование конструктивных характеристик срезов на дорне при производстве полых заготовок из цветных сплавов [Текст] / О. Н. Хорошилов, О. И. Пономаренко // *Литье и металлургия*. – 2006. – № 2. – С. 187–189.

4. Чибичик, О. А. Анализ технологического процесса заливки роторов электродвигателя и возможные пути его усовершенствования [Текст] / О. А. Чибичик // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2007. – Т. 6, № 1 (30). – С. 55–60. – Режим доступа: http://www.nbu.gov.ua/old_jrn/natural/vejpt/2007_6_1/EEJE_T_6_1_2007_55-60.pdf

5. Акимов, О. В. Совершенствование технологических процессов изготовления литых деталей роторов для повышения эксплуатационных характеристик тягового электропривода [Текст] / О. В. Акимов, О. А. Чибичик, А. В. Редькина // *Проблемы машиностроения*. – 2013. – Т. 16, № 5. – С. 7–12.

6. Пономаренко, О. И. Компьютерное моделирование процессов кристаллизации как резерв повышения качества поршней ДВС [Текст] / О. И. Пономаренко, Н. С. Тренёв // *Технологический аудит и резервы производства*. – 2013. – Т. 6, № 2 (14). – С. 36–40. – Режим доступа: <http://journals.uran.ua/tarp/article/view/19529/17205>

7. Акимов, О. В. Анализ погрешностей формообразования отливок колес турбин турбокомпрессоров для наддува ДВС на этапе изготовления их восковых моделей [Текст] / О. В. Акимов // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2003. – Т. 3, № 3. – С. 16–24.

8. Бидуля, П. Н. Технология стальных отливок [Текст] / П. Н. Бидуля. – Москва: Металлургиздат, 1961. – 352 с.

9. Дёмин, Д. А. Методология формирования функционала для задачи оптимального управления электроплавкой [Текст] / Д. А. Дёмин // *Технологический аудит и резервы производства*. – 2011. – Т. 1, № 1 (1). – С. 15–24. – Режим доступа: <http://journals.uran.ua/tarp/article/view/4082/3748>

10. Дёмин, Д. А. Нечеткая кластеризация в задаче построения моделей «состав – свойство» по данным пассивного эксперимента в условиях неопределённости [Текст] / Д. А. Дёмин // *Проблемы машиностроения*. – 2013. – Т. 16, № 6. – С. 15–23.

11. Дьомін, Д. О. Деякі аспекти управління якістю чавуну з пластинчастим графітом [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Д. О. Дьомін. – Харків, 1995. – 181 с.

12. Сплав NIMONIC [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.bibusmetals.com.ua/fileadmin/mate>

[materials/PDF/catalogs_new_2013/nikel/NIMONIC__Alloy_75_RU_EN.pdf](http://www.bibusmetals.com.ua/fileadmin/mate/materials/PDF/catalogs_new_2013/nikel/NIMONIC__Alloy_75_RU_EN.pdf)

13. Idan, A. F. I. The study of the influence of laser hardening conditions on the change in properties of steels [Text] / A. F. I. Idan, O. Akimov, L. Golovko, O. Goncharuk, K. Kostyk // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2016. – Vol. 2, Issue 5 (80). – P. 69–73. doi: 10.15587/1729-4061.2016.65455

14. Kostyk, K. Development of the high-speed boriding technology of alloy steel [Text] / K. Kostyk // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2015. – Vol. 6, Issue 11 (78). – P. 8–15. doi: 10.15587/1729-4061.2015.55015

15. Mohanad, M. K. Modeling of the case depth and surface hardness of steel during ion nitriding [Text] / M. K. Mohanad, V. Kostyk, D. Domin, K. Kostyk // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2016. – Vol. 2, Issue 5 (80). – P. 45–49. doi: 10.15587/1729-4061.2016.65454

References

1. Horoshilov, O. N., Ponomarenko, O. I., Kipenskij, A. V., Naniy, V. V. (2012). Povyshenie kachestva nepreryvnolityh zagotovok iz mednyh spлавov. *Metallurgiya mashinostroenija*, 12, 29–31.

2. Breslavskij, D. V., Horoshilov, O. N., Ponomarenko, O. I. (2010). Upravlenie kachestvom nepreryvno lityh zagotovok. *Visnik DDMA*, 3 (20), 41–46.

3. Horoshilov, O. N., Ponomarenko, O. I. (2006). Issledovanie konstrukcionnyh harakteristik srezov na dorne pri proizvodstve polyh zagotovok iz cvetnyh spлавov. *Lit'e i metallurgija*, 2, 187–189.

4. Chibichik, O. A. (2007). Analiz tehnologicheskogo processa zalivki rotorov jelektrodvigatelja i vozmozhnye puti ego usovershenstvovanija. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6/1 (30), 55–60. Available at: http://www.nbu.gov.ua/old_jrn/natural/vejpt/2007_6_1/EEJET_6_1_2007_55-60.pdf

5. Akimov, O. V., Chibichik, O. A., Red'kina, A. V. (2013). Sovershenstvovanie tehnologicheskikh processov izgotovlenija lityh detalej rotorov dlja povyshenija jekspluatacionnyh harakteristik t'jagovogo jelektroprivoda. *Problemy mashinostroenija*, 16 (5), 7–12.

6. Ponomarenko, O. I., Trenjov, N. S. (2013). Komp'juternoe modelirovanie processov kristallizacii kak rezerv povyshenija kachestva porshnej DVS. *Technology audit and production reserves*, 6/2 (14), 36–40. Available at: <http://journals.uran.ua/tarp/article/view/19529/17205>

7. Akimov, O. V. (2003). Analiz pogreshnostej formoobrazovanija otlivok koles turbin turbokompressorov dlja nadduva DVS na jetape izgotovlenija ih voskovykh modelej. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (3), 16–24.

8. Bidulja, P. N. (1961). *Tehnologija stal'nyh otlivok*. Moskva: Metallurgizdat, 352.

9. Djomin, D. A. (2011). Metodologija formirovanija funkcionala dlja zadachi optimal'nogo upravlenija jelektroplavkoj. *Technology audit and production reserves*, 1/1 (1), 15–24. Available at: <http://journals.uran.ua/tarp/article/view/4082/3748>

10. Djomin, D. A. (2013). Nechetkaja klasterizacija v zadache postroenija modelej «sostav – svojstvo» po dannym pассивnogo jeksperimenta v uslovijah neopredel'jonnosti. *Problemy mashinostroenija*, 16 (6), 15–23.

11. D'omin, D. O. (1995). *Dejaki aspekty upravlinnja jakistju chavunu z plastynchastym grafitom*. Kharkiv, 181.

12. Sплав NIMONIC. Available at: http://www.bibusmetals.com.ua/fileadmin/materials/PDF/catalogs_new_2013/nikel/NIMONIC__Alloy_75_RU_EN.pdf

13. Idan, A. F. I., Akimov, O., Golovko, L., Goncharuk, O., Kostyk, K. (2016). The study of the influence of laser hardening conditions on the change in properties of steels. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2/5 (80), 69–73. doi: 10.15587/1729-4061.2016.65455

14. Kostyk, K. (2015). Development of the high-speed boring technology of alloy steel. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6/11 (78), 8–15. doi: 10.15587/1729-4061.2015.55015

15. Mohanad, M. K., Kostyk, V., Domin, D., Kostyk, K. (2016). Modeling of the case depth and surface hardness of steel during ion nitriding. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2/5 (80), 45–49. doi: 10.15587/1729-4061.2016.65454

*Рекомендовано до публікації д-р техн. наук, професор Хорошилов О. М.
Дата надходження рукопису 18.05.2016*

Дымко Егор Павлович, заместитель начальника, эксплуатационно-технический отдел, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ул. Багалея, 21, г. Харьков, Украина, 61002

Мариненко Дмитрий Витальевич, кафедра литейного производства, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ул. Багалея, 21, г. Харьков, Украина, 61002
E-mail: litvo11@kpi.kharkov.ua

Борисенко Сергей Владимирович, кафедра литейного производства, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ул. Багалея, 21, г. Харьков, Украина, 61002

Кравцова Наталья Сергеевна, инженер, кафедра сопротивления материалов, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ул. Багалея, 21, г. Харьков, Украина, 61002

УДК 66.048.375

DOI: 10.15587/2313-8416.2016.71716

РАСЧЕТ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТАРЕЛОК ПРОВАЛЬНОГО ТИПА В РЕЖИМЕ ПОДВИЖНОГО ГАЗОЖИДКОСТНОГО СЛОЯ

© Г. В. Тараненко

В результате обработки экспериментальных данных по определению гидравлического сопротивления тарелок провального типа были получены критериальные уравнения для определения гидравлического сопротивления газожидкостного слоя на тарелках провального типа. Тарелки исследовались на модельной системе вода – воздух. Свободное сечение тарелок составляло 16, 25 и 36 %, диаметр отверстий в плате тарелок составлял 0,012 м, диаметр тарелок 0,15 м

Ключевые слова: тарелка, сопротивление, уравнение, отверстие, гидравлический, экспериментальный, газожидкостной, режим, геометрический, характеристика

As a result of the processing the experimental data to determine the pressure drop of dual-flow plates, criteria equations were obtained to determine the pressure drop of the gas-liquid layer on dual-flow plates. Plates were studied on model system «water – air». Free cross-section of plates was 16, 25 and 36 %, a diameter of the holes of plates was 0.012 m, diameter of the plates was 0.15 m

Keywords: plate, drug, equation, hole, hydraulic, experimental, gas-liquid, regime, geometric, characteristic

1. Введение

Тарелки провального типа нашли достаточно широкое применение в химической и смежных с ней отраслей промышленности. Они просты в изготовлении и эксплуатации, а так же способны длительное время работать с загрязненными рабочими средами.

Геометрические характеристики этих тарелок такие, как свободное сечение, диаметр отверстий в плате тарелки, ее наружный диаметр, могут изменяться в широких пределах.

В этих условиях необходимо дальнейшее совершенствование методики гидравлического расчета тарелок провального типа.

2. Анализ литературных данных

Одним из основных параметров работы тарелок провального типа является гидравлическое сопротивление тарелки. Расчету гидравлического сопротивления тарелок провального типа посвящено большое количество работ, что также говорит о сложности поставленной задачи.

Авторы работ применяют различные подходы к получению расчетных уравнений для определения гидравлического сопротивления тарелок провального типа.

В статьях [1, 2] была использована одна и та же физическая модель работы тарелки провального типа, рис. 1.