

Е.К.Соловых, проф., канд. техн. наук,

Кировоградский национальный технический университет, Кировоград, Украина

Б.А.Ляшенко, проф., д-р техн. наук,

Институт проблем прочности им. Г.С. Писаренко НАН Украины, Киев, Украина

Оптимизация технологий поверхностного упрочнения по критериям прочности

Установлено, что механические характеристики покрытий зависят от технологических режимов нанесения. Предложена методика оптимизации и управления технологическим процессом по критериям прочности и материалоемкости.

покрытия, прочность, оптимизация, механические характеристики, критерии, материалоемкость

Введение. Разработка любого технологического процесса (ТП) неизбежно связана с решением оптимизационных задач. В области создания упрочняющих защитных покрытий (УЗП) вопросы оптимизации занимают ключевое место. Это обусловлено тем, что многочисленные способы нанесения покрытий в сочетании с обширной номенклатурой материалов, из которых их формируют, и большое количество влияющих факторов предоставляют технологам ряд альтернативных вариантов. В таком случае эффективность принимаемых решений будет зависеть от наличия критериев прочности для управления технологическим процессом.

Состояние проблемы. Высокая чувствительность механических характеристик покрытий и основы к режимам их нанесения предъявляет особое требование к оптимизации и ведению технологического процесса по критериям прочности. Относительно влияния технологических режимов на служебные свойства УЗП имеются противоречивые данные [1]. Поэтому предпринимались попытки систематизировать технологические параметры в виде карт источников влияния на свойства покрытий [2] и иерархических схем параметров [3]. Поискам оптимума и установлению связей между технологическими режимами и свойствами посвящены работы [4-8]. В связи с этим актуальной становится разработка математических моделей и программного

© Е.К.Соловых, Б.А.Ляшенко, 2010

обеспечения. Однако разрабатываемые математические модели для САПР ТП и АСУ

ТП не охватывают многих явлений, определяющих эксплуатационные свойства УЗП. Они, как правило, рассматривают отдельные характеристики покрытий, оптимизацию отдельных свойств. В теории, технологии и практике УЗП сложилось и успешно развивается новое направление – оптимизация технологических процессов по критериям прочности [9]. Применение многопараметрической оптимизации методом факторного планирования эксперимента позволяет определить технологические параметры, обеспечивающие максимально возможную прочность и долговечность детали с покрытием.

Особенность нового направления заключается в проведении исследования по единой матрице планирования эксперимента с учетом технологических факторов, комплекса механических и эксплуатационных характеристик.

Согласно технологическим условиям достижение максимальной прочности и долговечности должно сопровождаться снижением энергетических и других

материальных затрат. Поэтому при многокритериальной оптимизации кроме критериев прочности используют экономические критерии.

Цель работы заключается в создании для покрытий методики оптимизации технологических процессов по критериям прочности, обеспечивающей достижение максимально возможной прочности и долговечности детали с покрытием при минимальных затратах на процесс его нанесения. Научная часть работы состоит в разработке математических моделей, базирующихся на критериях прочности, которые используются как основа для программного обеспечения САПР ТП.

Результаты исследований. В качестве критерия оптимизации при газотермическом напылении принята когезионная прочность покрытия σ_k . Однако, учитывая условия снижения материалоемкости технологического процесса, в качестве критерия оптимизации также принят коэффициент использования материала (КИМ).

На первом этапе исследования поставлен полный факторный эксперимент типа 2^4 . Однако исследуемые зависимости нельзя с достаточной точностью аппроксимировать полиномами первой степени. Поэтому выбран четырехфакторный симметричный некомпозиционный план второго порядка [10], который представляет собой комбинацию двухуровневых $(-1, +1)$ полных факторных экспериментов с неполноблочным сбалансированным планом. Отметим, что данный план имеет нулевое значение фактора несферичности, т.е. он является рототабельным, что позволяет с одинаковой точностью предсказывать значение функции отклика в любом направлении. Кроме того, план имеет сравнительно малое количество опытов: 27.

Расчет коэффициентов уравнений регрессии и проверка адекватности построенных моделей проводились по известным методикам [10]. После математической обработки матрицы планирования при 5%-ном уровне значимости коэффициентов полиномов получены уравнения регрессии:

$$Y_1 = 188,3 + 43,71X_1 - 16,58X_2 + 18,45X_4 + 26,25X_1X_4 + 18,72X_1 + 48,14X_2^2 + 10,62X_3^2 + 37,88X_4^2; \quad (1)$$

$$Y_2 = 71,7 + 12,83X_1 - 6,73X_2 - 7,715X_3 - 8,33X_1X_2 + 2,74X_1X_3 + 10,06X_1X_4 - 4,14X_1^2 - 6,89X_2^2 + 5,28X_3^2 - 9,75X_4^2. \quad (2)$$

Относительную степень влияния факторов на выходные параметры процесса можно представить в виде диаграмм для Y_1 (рис.1) и Y_2 (рис.2).

После канонических преобразований уравнение для Y_1 имеет вид

$$Y_1 - 236,2 = 18,95X_1^2 + 17,09X_2^2 + 9,44X_3^2 + 14,37X_4^2. \quad (3)$$

Каноническое уравнение для параметра КИМ запишем следующим образом:

$$Y_2 - 92,85 = -9,21X_1^2 - 3,99X_2^2 - 8,57X_3^2 - 3,41X_4^2. \quad (4)$$

Рассчитанные значения критериев оптимизации σ_k и КИМ в центре поверхности функции отклика Y_{1S} таковы:

- $\sigma_{k,1S}=236,2$ (максимальное значение);
- $\text{КИМ}_{1S}=69,98\%$,

в центре поверхности функции отклика Y_{2S} :

- $\sigma_{k,2S}=164,7$ МПа;
- $\text{КИМ}_{2S}=92,15\%$ (максимальное значение).

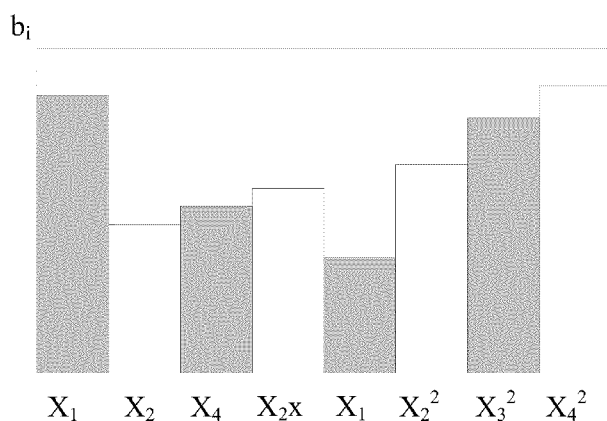


Рисунок 1 - Относительная степень влияния входных факторов на когезионную прочность σ_k .

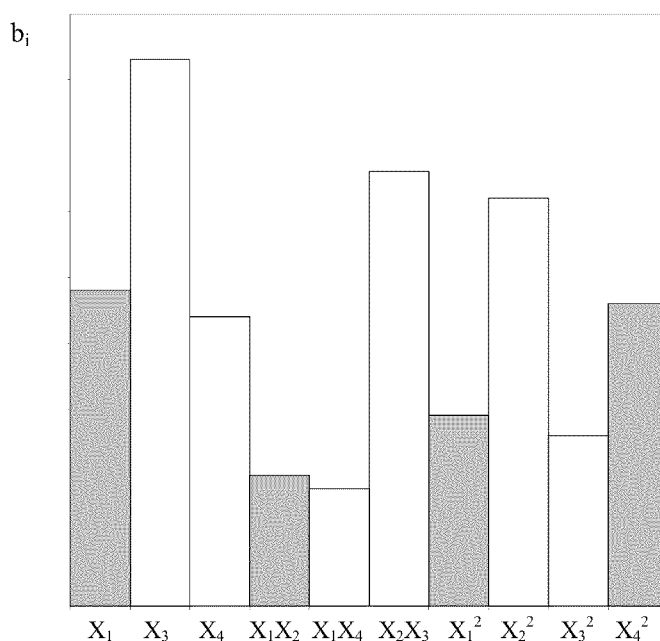


Рисунок 2 - Относительная степень влияния входных факторов на КИМ

При выборе режимов напыления принималось компромиссное решение: получение оптимально высокой когезионной прочности при обеспечении по возможности более высокого коэффициента использования напыляемого материала.

Как и следовало ожидать, базовый вариант промышленной технологии газотермического напыления, принятой на эмпирически интуитивной основе, оказывается неоптимальным как по прочности (σ_k), так и по экономической характеристике (КИМ).

Выводы. На примере газотермического напыления покрытий предложена методика оптимизации технологического процесса по критериям прочности. При математическом планировании эксперимента в качестве функции отклика принимают когезионную прочность покрытия σ_k при соблюдении оптимального соотношения с адгезионной прочностью τ . Исходя из условий снижения материалоемкости, в качестве еще одного критерия оптимизации принят коэффициент использования материала. В качестве нулевого плана эксперимента принята промышленная технология, режимы которой установлены на эмпирической основе. Из уравнений регрессии рассчитывают условия получения максимальной прочности σ_k при максимальном КИМ. Стендовые испытания покрытий, нанесенных по оптимальным технологическим режимам,

показывают, что долговечность покрытия увеличивается в два раза за счет коррекции технологических параметров.

Список литературы

1. Будилов В.В.. Защитные свойства вакуумных ионно-плазменных покрытий на лопатках компрессоров ГТД / Будилов В.В., Мухин В.С., Минаева О.Б.// *Авиац. пром-сть.* – 1995. № 3-4. – С.41-45.
2. Huston R.P. Role of designed experiments to evaluate factors that influence measured properties of sprayed coatings // *Proc. of NTSC'90.* –1990. –P.675-680.
3. Heiman R.. Parameter optimization of alumina-titania coatings by a statistical experimental design / Heiman R., Lamy D., and Sopkow T.N. // *Proc. of NTSC'90.*- 1990.–P.491-496.
4. Steeper T.. Design of Experiment study of plasma Sprayed coatings / Steeper T., Riggs W., and Tagushi A. // *Proc. of NTSC'93.* –1993.–P.31-36.
5. Bisgaard S. Optimizing thermal spray processes – yoinng beyond tagushi methods // *Proc. of NTSC'90.* – 1990. –P.661-665.
6. Vuoristo P. Optimization and monitoring of spray parameters by a CCD camera based imaging thermal spray monitor / Vuoristo P. and Ahmaniemi S. et al. // *Proc. of ITSC'2001.*– 2004.–P.727-735.
7. Bulancea D.. The optimizing of the superficial cold-burst hardening process of the inner cylindrical metallic surface by knocking with centrifuged balls / Bulancea D., Bukancea V., Alexandru I., and Condurache D. // *Proc. of ITSC'2000.* –2000.–P.957-962.
8. Blein F.. Experimental design based on McLean and Anderson modeling applied to the prediction of plasma properties / Blein F., Roussel E., and Freslon A. // *Proc. of 15th ITSC'1998.* –1998. –P.881-886.
9. Оптимизация технологических процессов по критериям прочности: Межвуз. темат. науч. сб. – Уфа, 1987. –166 с.
10. Новик Ф.С.. Оптимизация процессов технологии металлов методом планирования экспериментов. / Ф. Новик, Я. Ар соф.– М.; София: Машиностроение; Техника, 1980. –340 с.

Е.Соловях, Б.Ляшенко

Оптимізація технологій поверхневого зміцнення по критеріях міцності

Установлено, що механічні характеристики покриттів залежать від технологічних режимів нанесення. Запропоновано методику оптимізації й управління технологічним процесом за критеріями міцності і матеріалоемності.

Е. Solovykh, В. Lyashenko

Optimization technologies of the superficial work-hardening on the criteria of durability

It is set that mechanical descriptions of coverages depend on the technological modes of causing. The method of optimization and technological process control is offered on the criteria of durability and resource-demanding.

Одержано 12.11.09.