

Бережная Е.В., к.т.н., ст. преп., Грибков Э.П., к.т.н., доц.

^{1,2} - Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск, Украина, e-mail: elena_kassova@mail.ru

ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЕ УПРОЧНЕНИЕ СЛОЯ, НАНЕСЕННОГО ГАЗОТЕРМИЧЕСКИМ НАПЫЛЕНИЕМ

Berezshnaya E.V., Gribkov. E.P.

¹ - PhD, senior lecturer, Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk, Ukraine, e-mail: elena_kassova@mail.ru

² - PhD, associate professor, Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk, Ukraine

ELECTROCONTACT HARDENING OF THERMAL SPRAYED LAYER

В статье рассмотрена проблема повышения адгезионной прочности методами прокатки напыленного слоя при восстановлении изношенных поверхностей деталей тормозных устройств ленточных конвейеров при небольших величинах износа, обусловленных работой в условиях длительного переменного нагружения, с целью продления их срока службы и повышения эксплуатационных характеристик. Предложена также математическая модель формирования упрочненного электроконтактным способом слоя порошкового материала, предварительно нанесенного газопламенным напылением.

Ключевые слова: *электроконтактное упрочнение, газопламенное напыление, математическая модель.*

Введение

В современной промышленности применяется большое количество деталей механизмов и машин, подверженных значительным нагрузкам при эксплуатации. Производственный опыт ремонтных предприятий [1] показывает, что качество восстановленных утративших свои изначальные служебные характеристики деталей, аналогично вновь изготавливаемым, определяется используемыми технологиями и зависит от надежности технологического процесса в целом. Так, для нанесения слоя материала, толщина которого соизмерима с величиной износа, используют технологии нанесения защитных покрытий, среди которых газопламенный процесс занимает значительное место [2]. Основным недостатком наносимых слоев является их низкая адгезионная и когезионная прочность [3]. Это связано с незначительными параметрами давления газовых потоков и невысокой скоростью частиц напыляемых материалов в зоне формирования покрытия. Повышение качественных показателей газотермических покрытий может быть достигнуто за счет введения в технологический процесс восстановления дополнительной упрочняющей операции – электроконтактной обработки [4]. Однако, особенности формирования упрочняющего слоя изучены не достаточно.

Цель

Целью данной работы является разработка математической модели формирования упрочненного слоя, нанесенного газотермическим напылением.

Математическая модель

Основным допущением при моделировании электроконтактного упрочнения напыленных покрытий является отсутствие продольных ε_l и поперечных ε_b деформаций напыленного слоя, исходя из условия сохранения целостности упрочняемой композиции:

$$\varepsilon_l = \varepsilon_b = 0, \quad (1)$$

что по своей кинематике соответствует процессу уплотнения порошка в закрытой матрице [5]. Используя методику расчета данной технологической схемы [5] и осуществив разбиение очага деформации на конечное множество элементарных объемов текущие значения нормальных σ_{xi} и нормальных контактных P_{xi} напряжений можно определить как:

$$P_{xi} = \sigma_{sxi} / 3 \sqrt{[(1 + 4\alpha_{xi}) / \alpha_{xi}] \cdot \beta_{xi}}; \quad (2)$$

$$\sigma_{xi} = (1 - 2\alpha_{xi}) / (1 + 4\alpha_{xi}) P_{xi}, \quad (3)$$

где α_{xi} , β_{xi} – текущие значения коэффициентов условия пластичности упрочняемого газонапыленного слоя;

i – порядковый номер поперечного сечения очага деформации;

σ_{sxi} – текущее значение предела текучести твердой фазы напыленного слоя, принимаемое при упрочнении величиной переменной по длине очага деформации и определяемой функционально в зависимости от текущего значения эквивалентной пластической деформации $\varepsilon_{\Sigma x}$.

Текущее значение эквивалентной пластической деформации в этом случае, может быть определено как:

$$\varepsilon_{\Sigma xi} = 1/3 \sum_{i=1}^k \beta_{xi}^{1/2} (4 + 1/\alpha_{xi})^{1/2} \Delta \gamma_{xi} / \gamma_{xi}^2, \quad (4)$$

где k – порядковый номер анализируемого сечения;

$\Delta \gamma_{xi}$ – приращение относительной плотности, получаемое при переходе от $(i-1)$ к i -му элементарному сечению.

Текущее значение относительной плотности γ_{xi} , знание которого необходимо для определения согласно (4) эквивалентной пластической деформации,

может быть определено непосредственно из условия сохранения массы:

$$\gamma_{xi} = h_0 \gamma_0 / h_{xi}, \quad (5)$$

где h_0, γ_0 – исходные показатели толщины и относительной плотности;
 h_{xi} – текущее значение толщины упрочняемой композиции.

Помимо указанных выше в математической модели принято допущение, что касательные контактные напряжения в очаге деформации подчиняются закону трения Кулона-Аммонтона, т.е. $\tau_x = f_x P_x$, при этом аналитические описания распределений коэффициентов внешнего трения и для зоны отставания, и для зоны опережения могут быть представлены степенными зависимостями следующего вида:

$$f_{x1}(2) = f_{om1}(2) \left[\frac{x - l_{on1}(2)}{l_{nl} - l_{on1}(2)} \right]^{a_{f1}(2)} \quad \text{при } l_{on1}(2) < x \leq l_{nl}; \quad (5)$$

$$f_{x1}(2) = f_{om1}(2) \left[\frac{l_{on1}(2) - x}{l_{on1}(2)} \right]^{a_{f1}(2)} \quad \text{при } 0 < x \leq l_{on1}(2), \quad (6)$$

где x – геометрическая координата, имеющая свое начало в плоскости сопряжения зоны уплотнения и зоны упругого восстановления;

$f_{om1}(2), f_{on1}(2)$ – опорные значения коэффициентов трения, соответствующие значениям данных коэффициентов в сечении на входе ($x=l_{nl}$) и в сечении на выходе ($x=0$) из зоны уплотнения;

$a_{f1}(2)$ – степенные показатели, характеризующие форму эпюры распределения коэффициентов трения по длине контактных поверхностей на ролике-электроде и упрочняемом слое соответственно.

С точки зрения начальных условий расчетные значения напряжений σ_x , в свою очередь, должны быть равны известным напряжениям переднего натяжения или подпора σ_1 . Достижение данного условия, в свою очередь, обеспечивали за счет направленного итерационного изменения относительной протяженности зоны опережения на ролике-электроде $S_{1l} = l_{on1}/l_{nl}$:

$$S_{1l(k+1)} = S_{1lk} + A_S \text{sign}\{\sigma_{xABk} - \sigma_1\}, \quad (7)$$

где k – порядковый номер очередного цикла итерации;

A_S – шаг изменения относительной протяженности зоны опережения, величина которого в зависимости от степени приближения к искомому результату была принята переменной;

$\text{sign}\{\sigma_{xABk} - \sigma_1\}$ – градиентная оценка направления приращения.

Исходя из используемой количественной оценки S_{11} , а также исходя из известного значения показателя степени кинематической асимметрии $K_V = V_{в1}/V_{в2}$, определяли и величину относительной протяженности зоны опережения на ролике-электроде:

$$S_{12} = \frac{l_{он2}}{l_{нл}} = \sqrt{\frac{h_1(K_V - 1)}{h_0 - h_1}} + K_V S_{11}^2, \quad (8)$$

После определения напряженно-деформированного состояния в очаге деформации определяли величину силы обжатия:

$$P = b \sum_{i=2}^{K_R} \frac{P_{x2(i-1)} + P_{x2i}}{2} \Delta x \quad (9)$$

и суммарного момента на ролике:

$$M = 2Rb \sum_{i=2}^{K_R} \frac{P_{x2(i-1)} f_{x1(i-1)} + P_{x2i} f_{x2i}}{2} \Delta x. \quad (10)$$

Представленные выше описания составили полный алгоритм по математическому моделированию процесса электроконтактного упрочнения напыленного слоя. В качестве примера разработанной математической модели были получены расчётные зависимости локальных характеристик процесса при электроконтактном упрочнении покрытия, нанесенного на детали из стали Ст 3 рабочим слоем из порошкового материала ПТ-НА-01 (рис. 1).

Из анализа расчётных распределений интегральных характеристик процесса упрочнения в зависимости от радиуса восстанавливаемой поверхности видно, что с увеличением степени асимметрии процесса наблюдается незначительное увеличение силы и момента при некотором снижении мощности электроконтактного упрочнения (рис. 2).

Представлены также расчётные зависимости уровня максимальных контактных напряжений и конечной относительной плотности напыленного слоя от степени деформации, которые могут быть использованы для разработки оптимальных технологических режимов при заданных уровнях физико-механических свойств слоя и интегральных характеристик процесса (рис. 3).

Из анализа представленных зависимостей видно, что распределение напряжений носит сложный характер. В частности, распределение касательных контактных напряжений показывает, что в очаге деформации преобладает зона отставания.

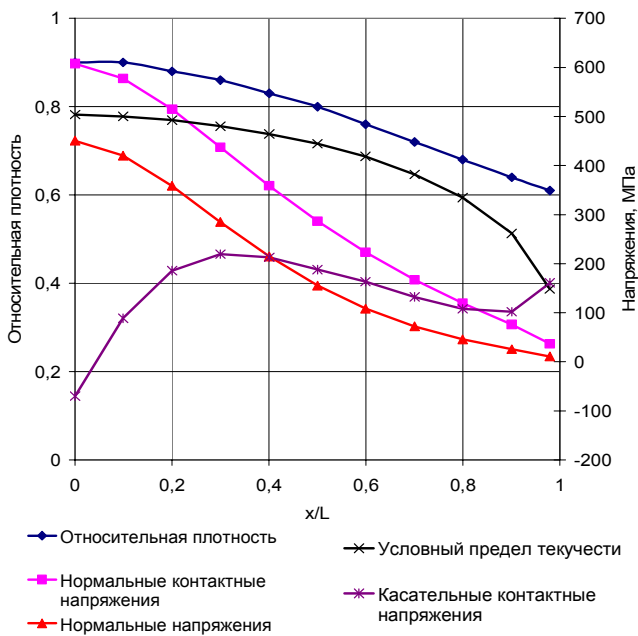


Рис. 1. Расчётные распределения локальных характеристик напряженного состояния

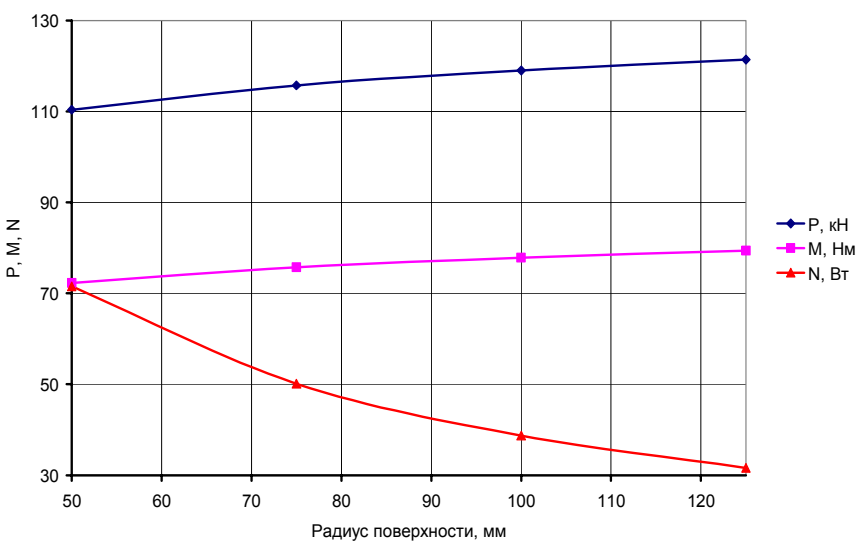


Рис. 2. Расчётные зависимости интегральных характеристик процесса от радиуса

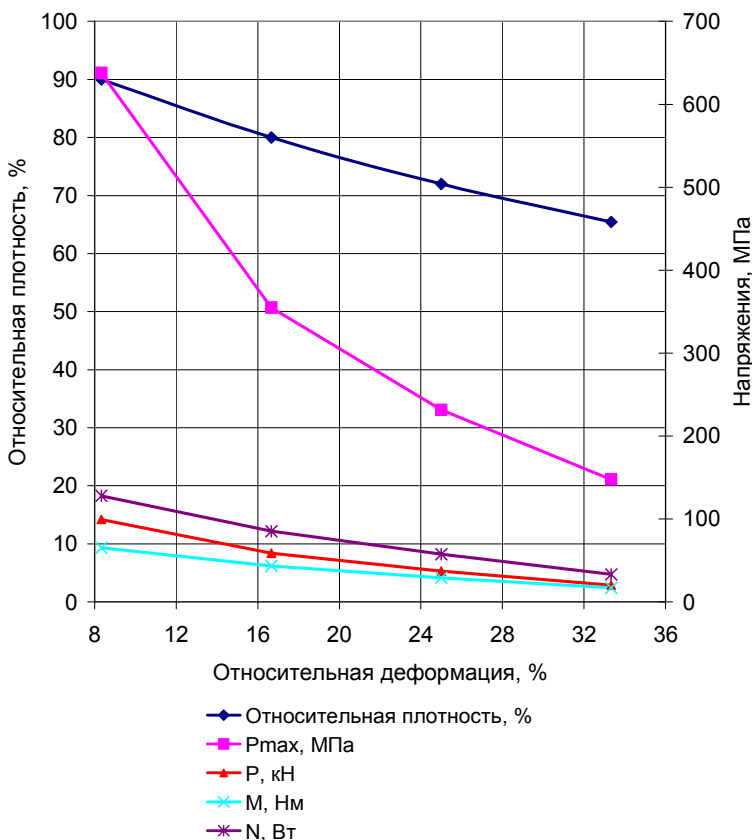


Рис. 3. Расчётные зависимости интегральных характеристик процесса от обжатия

Максимум нормальных и нормальных контактных напряжений наблюдается на выходе из очага деформации.

Выводы

Данная математическая модель и полученные на ее основе программные средства были использованы при разработке технологии и оборудования по восстановлению порошковыми материалами изношенные поверхности деталей (шківов-полумуфт) тормозных устройств ленточных конвейеров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Черноиванов В.И. Восстановление деталей машин. – М.: ГОСНИТИ, 1995. – 278 с.
2. Гордеев А.Ф. Технология газотермического напыления / А.Ф. Гордеев, Р.В. Гордеева // Технология металлов, 2008. – №9. – С. 47–54.

3. Ловшенко Ф.Г. Новые ресурсосберегающие технологии и композиционные материалы / Ф.Г. Ловшенко, А.Г. Пантелеенко, А.В. Рогачев. – М.: Энергоатомиздат, 2004. – 519с.
4. Бережная Е.В. Современные методы повышения износостойкости землеройной техники / Вісник Донбаської державної машинобудівної академії: Зб. наук. праць. – Краматорськ: ДДМА. – 2012. – №3. – С. 33–36.
5. Штибен В.Ф. Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния при прокатке порошковых материалов на металлической подложке / В.Ф. Штибен, Ю.А. Воробьев, Э.П. Грибков. Сб. науч. статей. Выпуск 4, – Краматорск, - 1998.- С. 123-128.

REFERENCES

1. Cherivanov, V.I., 1995. Recovery of machine parts. Moscow: GOSNITI, 278 p. (in Russian)
2. Gordeev, A.F., Gordeeva, R.V., 2008. The technology of thermal spraying. Tekhnologiya Metallov, No 9, pp. 47–54. (in Russian)
3. Lovshenko, F.G., Panteleenko, A.G., Rogachev, A.V., 2004. New resource-saving technologies and composite materials, Moscow, Energoatomizdat, 519 p. (in Russian)
4. Berezshnaya, E.V., 2012. Modern methods of improving the wear resistance of excavation equipment, Herald of the Donbass State Engineering Academy. Kramatorsk, DSEA, No 3. pp. 33-36. (in Russian)
5. Shtiben, V.F., Vorobiov, J.A., Gribkov, E.P., 1998. Mathematical modeling of the stress-strain state in the rolling powder materials on a metal substrate, Herald of the Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk, Vol.4, pp. 123-128. (in Russian)

Бережна О.В., Грибков Е.П. Електроконтактне зміцнення шару, нанесеного газотермічним напленням.

У статті розглянуто проблему підвищення адгезійної міцності напленого шару методами прокатки при відновленні зношених поверхонь деталей тормозних пристроїв стрічкових конвеєрів при невеликому зношуванні, обумовленого роботою в умовах довгострокового перемінного навантаження, з метою подовження їхнього строку служби та підвищення експлуатаційних характеристик. Запропоновано також математичну модель формування зміцненого електроконтактним способом шару порошкового матеріалу, попередньо нанесеного газополум'яним напленням.

Ключові слова: електроконтактне зміцнення, газополум'яне наплення, математична модель.

Berezshnaya E.V., Gribkov E.P. Electrocontact hardening of thermal sprayed layer.

The mathematical model of formation of the thermal sprayed and electrocontact hardened layer of powder material has developed.

Modeling of the formation of hardened layer from powder material has been conducted on the basis of integrity preserving condition for reinforced compositions. The calculation procedure with dividing the deformation zone by finite set of elementary

volumes was implemented for the technological scheme. Dependences that are describing the local characteristics of the process have presented.

Analysis of the modeling results has shown domination of the deceleration zone into the deformation zone. Maximum normal and normal contact stresses have been observed at the exit of the deformation zone.

A problem of improvement the adhesion strength of sprayed layer by rolling with renovation of the worn surfaces of braking parts of belt conveyors at low wear intensity has considered. The mathematical model of electrocontact hardening of layer previously applied by flame spraying of powder material has also proposed. This mathematical model and software tools created on its basis were implemented for the development of technology and equipment for renovation of worn surfaces of details by using of powder materials.

Keywords: electrocontact hardening, flame spraying, mathematical model.