МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФРИКЦИОННОГО НАНЕСЕНИЯ АНТИИЗНОСНОГО МАТЕРИАЛА НА ПОВЕРХНОСТЬ ЗОЛОТНИКА.

Дидур В.А., акад. МААО, д.т.н., проф.

Величко И.Г., к. ф.-м. н.

Мушкевич О.И., аспирант.

Таврический государственный агротехнологический университет

г. Мелитополь, Украина

Тел. (0619) 44-02-74

*Аннотация.* Рассмотрен процесс фрикционного нанесения антиизносного покрытия на поверхность вала. Проанализирован процесс нанесения, определены параметры влияющие на процесс, выдвинута система предположений в рамках которой построен алгоритм расчета толщины нанесенного слоя покрытия, получены закономерности толщины нанесенного слоя покрытия в зависимости от приложенного усилия при обработке. Проанализированы теоретические и экспериментальные данные.

*Ключевые слова*: фрикционное латунирование, антиизносное покрытие, плоская деформация, задача Герца, задача Фламана.

*Постановка проблемы*. Фрикционное нанесения антиизносного материала, например латуни [4,5,6], имеет сложную природу. Качество покрытия зависит от многих факторов на разных этапах технологического процесса.

Процесс фрикционного нанесения антиизносного материала, фрикционное латунирование, мало изученный. Большее внимание уделяется процессу работы покрытия, а не качеству его нанесения. Поэтому является важным рассмотреть процесс фрикционного нанесения латунного покрытия подробнее.

Для качественного фрикционного нанесения антиизносного материала на внешнюю поверхность валов и дальнейшей работы покрытия важным является выполнение всех условий этого многопараметрического процесса. Критериями качества нанесения антиизносного материала, является равномерность слоя покрытия, шероховатость и его толщина. Поэтому выявление параметров и факторов влияющих на протекание процесса и выявления зависимости между ними является очень важной задачей в освоении этого технологического процесса.

*Анализ последних исследований и публикаций.* Фрикционное нанесения антиизносных покрытий нашло широкое распространение благодаря работам Гаркунова Д.Н. и Лозовского В.Н. [4,5,6], именно на их работах основаны практически все современные исследования в этом направлении. Именно в этих исследованиях приведены основные свойства антифрикционных покрытий и описан механизм их работы.

Изучение влияния технологических режимов на качество покрытия приведены в работах [2,6,10,11]. Следует отметить, что в работе [11] достаточно полно изучено влияние скорости V и подачи S на толщину покрытия. Также широко развернуты исследования по влиянию фрикционного латунного покрытия на шероховатость поверхности. Недостаточно, на наш взгляд, рассмотрен параметр толщины нанесенного слоя покрытия, который влияет на дальнейшую работу покрытия и на размер обработанной детали, именно поэтому этот важный параметр требует дополнительных исследований.

Таким образом, можно констатировать, что в настоящее время отсутствует алгоритм, который позволяет определить толщину слоя покрытия по известным технологическим параметрам процесса фрикционного нанесения антиизносного материала.

Цель исследования: определить параметры, которые влияют на процесс фрикционного нанесения антиизносного материала, разработать и обосновать алгоритм, который позволит вычислить толщину нанесения антиизносного материала фрикционным способом с учетом угла наклона инструмента к оси обрабатываемой детали.

*Основная часть*. Фрикционное латунирование, как процесс покрытия тонким слоем (2-8 мкм) латуни рабочей поверхности вала, в простейшем виде представляет собой натирание вдоль вала латуни поджатым к нему латунным инструментом. Процесс осуществляется с поджимом пластинки к валу. Пластинка расположена под углом к оси вала и последовательно с помощью поперечной подачи обрабатывает поверхность вала, вследствие прижатия инструмента, возникают напряжения.

Во время проведения эксперимента образец который обрабатывали, в процессе покрывается слоем покрытия золотистого цвета и имеет разное качество и равномерность в зависимости от режимов. Латунь, которая отслаивается от поверхности инструмента не полностью наращивается на деталь, большая часть в виде порошка осыпается, этот фактор необходимо учитывать при построении модели.

Для построения математической модели приняты следующие допущения в рамках которых проведем исследование процесса фрикционного нанесения антиизносного материала:

1) деформация латунной пластинки является плоской, так как в каждом пересечении перпендикулярном оси цилиндра напряжение деформации будет одинаковой;

2) пластинку можно считать упругой полуплоскостью;

3) контакт пластинки с поверхностью золотника моделируется задачей Герца для контакта между двумя цилиндрами с параллельными осями;

4) задача статична.

Поскольку контакт происходит между валом и плоской пластинкой, диаметр пластинки будет стремиться к бесконечности. Итак, воспользуемся известными формулами [7] для расчета максимального давления в зоне контакта.

                                                 (1)

здесь

                                            (2)

                                                  (3)

  где: R1 та R2 - радиусы первого и второго цилиндров, если радиус второго цилиндра стремится к бесконечности, тогда будем иметь:

Е1 и Е2 - модули упругости материалов первого и второго цилиндров;

*1* и *2* - коэффициенты Пуассона материалов первого и второго цилиндров.

Длина области контакта рассчитывается с учетом угла наклона α пластинки относительно оси вращения вала.

                                                         (4)

где: *l* - ширина пластинки;

α - угол наклона пластинки относительно оси вращения вала.

α

1

2

Рисунок 1. - Схематическое изображение расположения элементов при проведении фрикционного нанесения антиизносного материала.

1 - Вал; 2 - Пластинка;

Находим нагрузку на единицу длины:

                                                          (5)

где: F- сила прижима пластинки к валу.

Полуширина площадки контакта рассчитывается по формуле:

                                                      (6)

Если ввести систему координат так, чтобы область контакта была (-b; b) х (0; L), то нормальная нагрузка в области контакта описывается функцией [7]:

                                               (7)



Рr

Рисунок. 2 - Распределение приложенного усилия на участке.

Для определения внутренних напряжений воспользуемся задачей Фламана.

Рассмотрим задачу Фламана о воздействии на упругую полуплоскость нормальной сосредоточенной силы, которая приложена к границе полуплоскости. Компоненты тензора напряжений определяются по формулам [1]

                         (8)

                             (9)

                          (10)

  Если для единичной сосредоточенной силы напряжения определяется по формуле (1), то для усилия приложенную на участке (-b, b) и описывается функцией Р(х), соответствует напряжение, которое рассчитывается по формуле:

                       (11)

Здесь *σ(n)(x-s,z)* является функцией Грина.

С учетом этого и (7) будем иметь:

                       (12)

                            (13)

Ограничимся только точками по оси х. Для этого в выражения подставим x = 0.

                         (14)

Далее по аналогии следующие компоненты тензора напряжения будут иметь вид:

                               (15)

                   (16)

Поскольку функция P (s) парная, последний интеграл равен 0.

Согласно четвертой гипотезы прочности исследуется потенциальная энергия формоизменения, которая определяется через главные напряжения следующим образом:

                 (17)

В случае плоской деформации уравнения для энергии формоизменения будут иметь следующий вид [1]:

  (18)

Здесь  - коэффициент Пуассона материала.

После подстановки (14,15,16) в (18) получим следующее выражение

                            (19)

Приведем графики зависимостей энергии формоизменения на линии действия силы в зависимости от глубины z при различных значениях приложенной силы Рi.

F, МПа



3

2

1

80

70

60

50

40

30

z, мкм

 0 20 40 60 80 100 120

Рисунок 3. - График функций, описывающих зависимость энергии формоизменения от приложенной силы Рi.

1 - прилагаемое усилие, Р = 7 кг., 2 - прилагаемое усилие, Р = 10 кг., 3 - прилагаемое усилие, Р = 14 кг.

Как видим, каждая из этих функций имеет единственный максимум. Координаты точки максимума растут с ростом приложенной силы.

Для нахождения точек максимума определим производные от полученных функций по z и приравняем их к 0.



35

45

40

30

3

2

1

800

600

400

200

 0

-200

-400

50 z', мкм

Рисунок 4. - График производных от функций, F '= ƒ (Pi).

  1 - прилагаемое усилие, Р = 7 кг., 2 - прилагаемое усилие, Р = 10 кг., 3 - прилагаемое усилие, Р = 14 кг.

 Численные значения глубины деформации z' в зависимости от приложенной силы Рi при максимуме энергии формоизменения приведены в таблице 1.

Таблица 1. Точки максимума энергии формоизменения в зависимости от приложенного усилия Рi.

|  |  |
| --- | --- |
| Р, кг | z', мкм |
| 7 | 29 |
| 10 | 34,5 |
| 14 | 41 |

Предлагается гипотеза, что толщина слоя пропорциональна глубине на которой достигается максимум энергии формоизменения на линии действия силы.

                                                   (20)

где: z '- координата точки максимума энергии формоизменения при силе Pi,

h - толщина нанесенного материала,

с - абсолютная константа.

Отсюда вытекает следующее:

                                                        (21)

Для проверки теоретических положений характеризующих процесс фрикционного латунирование были проведены экспериментальные исследования.

Методика экспериментальных исследований. Эксперимент проводился на токарном станке 16К20 с помощью специально разработанного приспособления. Режимы обработки: обороты n = 200 об/мин, поперечная подача S = 0,035 мм/об, угол наклона пластинки к оси золотника α = 10о. Время контакта латунной пластинки с валом зависит от скорости и подачи, потому как пластинка расположена под углом и смещается с каждым кругом.

Полученные результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2. Экспериментальные данные толщины нанесенного слоя латуни в зависимости от приложенного усилия Р.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № | Р, кг | h, мкм |
| 1 | 7 | 5 |
| 2 | 10 | 6 |
| 3 | 14 | 7 |

Для определения абсолютной константы воспользуемся фактическими данными полученными в процессе эксперимента по нанесению материала, данные приведены в таблице 2.

Экспериментальные значения подставим в выражения (21), получим величину:

Полученное значение после расчета абсолютной константы *с* подставим в формулу (20), получим расчетную толщину нанесенного слоя h', результаты сравнения расчетных и экспериментальных данных для определения h представим в таблице 3.

Таблица 3. Экспериментальные и расчетные значения толщины нанесенного слоя латуни в зависимости от приложенного усилия Р, и их расхождение.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Р, кг | Товщина нанесеного шару | розбіжність, % |
| експериментальна, h, мкм | розрахункова, h', мкм |
| 7 | 5 | 4,988 | 0,24 |
| 10 | 6 | 5,934 | 1,1 |
| 14 | 7 | 7,052 | 0,7 |

Поскольку расхождение теоретических и расчетных значений незначительное данная модель может быть использована для дальнейших расчетов.

Выводы: в статье определены параметры влияющие на процесс фрикционного нанесения материала. Разработан алгоритм и установлены закономерности, которые позволяют получать расчетные значения толщины h нанесенного слоя антиизносного материала в зависимости от силы прижима Pi пластинки к валу. Сравнение теоретических и экспериментальных результатов показало максимальное расхождение в 1,1%, что подтверждает адекватность модели.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александров А.В. Основы теории упругости и пластичности / А.В. Александров, В.Д. Потапов - Учеб. Для строительных спец. Вузов. - М .: Высш.школа, 1990. - 400с.

2. Баранов, М. Н. Модификация поверхности трения / М. Н. Баранов, М. Г. Исупов, Г. П. Исупов / Вестник Ижевск государственного технического университета. - 2008. - N 4

3. Беляев Н.М. Сопротивление материалов. - М .: Наука, 1965. - 856с.

4. Гаркунов Д.Н. Триботехника (конструирование, изготовление и эксплуатация машин): Учебник. - Пятый изд., Перераб. и доп. / Д.Н. Гаркунов - М., 2002. - 632 с.

5. Гаркунов Д.Н. Триботехника (износ и безызносности): Учебник. - Пятый изд., Перераб. и доп. / Д.Н. Гаркунов - М., 2001. - 616 с.

6. Лозовский В.Н. Надежность гидравлических агрегатов / В.Н. Лозовский- М., 1974. - 320с.

7. Пат.23343 Украины, МПК7 В23Р 9/00. Приспособления для фрикционно-механического нанесения покрытий / В.Б. Богуцкий, Л.Б.Шрон, В.В. Малыгина. - № u2006 11891. - Заявл. 13.11.2006; Опубл. 25.05.2007. Бюл.№7.

8. Самули В.И. Основы теории упругости и пластичности: Учеб. пособие для студентов вузов. - Второй изд., Перераб. - М .: Высш. школа, 1982. - 264 с.

9. Седов Л. И. Методы подобия и размерности в механике. - М .: Наука, 1981. - 448 с.

10. Черкун В.В. Способы нанесения антифрикционных покрытий прироботочних / В.В. Черкун, В.Б. Юдовинський - Мелитополь, Труда ТГАТУ, Вып 9. Т4 - Мелитополь, 2009. - 180с.

11. Шрон. Л.Б. Исследование влияния условий фрикционно латунирование на параметры поверхностного слоя обработанных деталей / Л.Б Шрон .; В.Б. Богуцкий; В.М Мануйленко - Сборник научных трудов "Вестник НТУ" ХПИ "Технологии в машиностроении - Харьков, 2009. - 101с.

BIBLIOGRAPHY

1. Alexandrov A.V. Fundamentals of the theory of elasticity and plasticity / AV Aleksandrov, V.D. Potapov - Proc. For building spec. Universities. - M.: Vyssh.shkola, 1990. - 400c.

2. Baranov M.N. Surface Modification of friction / M. Baranov, MG Isupov, GP Isupov / Herald Izhevsk State Technical University. - 2008. - N 4

3. Belyaev N.M. Strength of materials. - M.: Science, 1965 - 856s.

4. Garkunov D.N. Tribotekhnika (design, manufacture and operation of the machine): Textbook. - 5th ed., Rev. and ext. / D.N. Garkunov - M., 2002 - 632 p.

5. Garkunov D.N. Tribotekhnika (wear and bezyznosnogo): Textbook. - 5th ed., Rev. and ext. / D.N. Garkunov - Moscow, 2001 - 616 p.

6. Lozovskiy V.N. Reliability of hydraulic power units / V.N. Lozovskiy- M., 1974. - 320C.

7. Pat.23343 Ukraine, MPK7 V23R 9/00. Pristosuvannya for friktsиyno-mehanиchnogo Damage pokrittиv / VB Bogutsky, L.B.Shron, V.V. Maligиna. - № u2006 11891. - Appl. 13.11.2006; Publ. 25.05.2007. Byul.№7.

8. Samuli V.I. Fundamentals of the theory of elasticity and plasticity: Proc. manual for students. - 2nd ed., Rev. - M.: Higher. School, 1982 - 264 p.

9. Sedov L.I. Methods of Similarity and Dimensionality in Mechanics. - M.: Science, 1981 - 448.

10 Cherkun V.V. Methods of application antifriktsиynih pokrittиv prirobotochnih / VV Cherkun, V.B. Yudovinsky - Melitopol, Prats TDATU, Vip 4 сентября - Melitopol 2009 - 180c.

11 Shron L.B. Investigation of the influence of the friction brass plating conditions on the parameters of the surface layer of machined parts / LB Shron.; V.B. Bogutskiy; V.M. Manuilenko - Collection of scientific works "Herald of NTU" KPI "Tehnologии in mashinobuduvannи - Kharkiv, 2009. - 101c.