

для активной творческой деятельности;

- наглядность – наличие плакатов, схем и т.д.;

-обеспечение возможности контроля со стороны мастера и преподавателя и самоконтроля учащегося – контрольные вопросы и задачи.

Примерная структура инструкционно - технологической карты:

1. Общие положения.
2. Характеристика рабочего места – состав МТА.
3. Технологический процесс агрегата и агротехнические требования.
4. Содержание и порядок выполнения операций.
5. Неисправности и способы их устранения.
6. Правила безопасности и охраны труда.
7. Контрольные вопросы и задачи.

### **Заключение**

Рассмотренные в работе материалы не исчерпывают всех требований при подготовке к практическим занятиям, но могут использоваться преподавателями и мастерами производственного обучения, осуществляющими подготовку трактористов – машинистов как методическое пособие для правильной организации и проведения занятий.

### **Литература**

1. Гулейчик А.И., Колошин А.И. Методика проведения занятий по подготовке машинно–тракторных агрегатов к работе: Метод. Пособие.- 2-е изд., перераб. – М.: Агропромиздат, 1986. – 184 с.
2. Димова М. Содержание и организация производственного обучения (химическая промышленность): Профпедагогика /Пер. с болг. В.П. Вороника. М.: Высш. Шк.,1985.–127 с.

УДК 629.115

## **КОНЦЕПЦИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОГО ФРИКЦИОННОГО ДИСКА ДЛЯ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ**

*Лешок А.В. (Молодечненский завод порошковой металлургии),*

*Леонов А.Н. (Институт порошковой металлургии НАН Беларуси),*

*Носко В.В., Дорофей С.И., Хоровец М.В.(БГАТУ)*

*Существенный недостаток широко распространенного способа производства фрикционных дисков – соединение фрикционной накладки и стальной основы через промежуточный медный подслоя, создаваемый гальваническим способом. В промышленных условиях это требует применения дорогостоящих очистных сооружений. Разработана концепция создания экологически чистого промежуточного подслоя из высокодисперсного порошка меди с размером частиц менее 40 мкм. Промежуточный порошковый подслоя обеспечивает требуемую прочность и высокую адгезию между фрикционной накладкой и стальной основой, осуществляет пластическую релаксацию нескомпенсированных термонапряжений в процессе эксплуатации фрикционного диска.*

### **Введение**

Мировой рост по добыче и переработке природных ресурсов, развитие сельского хозяйства и строительства стимулирует повышенный спрос на автотракторную технику. Любой вид автотракторной техники имеет передаточные и тормозные узлы, основными элементами которых являются фрикционные диски. Наибольшее распространение получили фрикционные диски из стальной основы с нанесёнными фрикционными накладками. Применение дисков такой конструкции обеспечивает высокий ресурс работы фрикционного узла и стабильные эксплуатационные параметры. Мировые лидеры по выпуску

автотракторной техники такие, как: БелАЗ, МТЗ, Амкодор, Caterpillar (США), Kamatsu (Япония), активно используют фрикционные диски в своих машинах. Молодечненский завод порошковой металлургии (МолЗПМ) является крупнейшим предприятием по производству изделий фрикционного назначения (более 60 % общего объема производства в странах СНГ) [1].

Фрикционный диск состоит из трех функциональных элементов: фрикционная накладка, стальная основа и связующий их промежуточный подслоя. Следует отметить, что помимо высоких требований к физико-механическим свойствам стальной основы и фрикционной накладки, высокий ресурс работы фрикционного диска во многом зависит от качества их соединения. Наиболее распространённым является способ закрепления свободно насыпанной фрикционной шихты к стальной основе припеканием. Для фрикционной шихты на основе меди используется промежуточный подслоя электролитической меди. Метод обладает высокой производительностью, возможностью автоматизации и механизации, позволяет изготавливать фрикционные диски большого диаметра (до 600 мм). Метод припекания используют известные производители фрикционных дисков: МолЗПМ, «Hoerbiger», «Miba» (Австрия), «Valeo» (Франция), «Wellman», «Hawk», (США), Pramet (Чехия).

Однако, наряду с достоинствами, этот метод имеет существенный недостаток: необходимость нанесения гальванопокрытия на стальную основу, требующее больших инвестиций, наличия значительных площадей и дорогостоящих очистных сооружений. Основной проблемой такого производства является снижение ПДК тяжёлых элементов в промывных водах, оказывающих существенное влияние на экологию и здоровье человека. Наиболее опасными компонентами промывных вод являются ионы металлов (медь, цинк, никель, кадмий, хром, олово), предельно допустимые концентрации которых не превышают 0.01 - 0.1 мг/л. Наличие ионов меди в промывных водах, например, вызывает образование синильной кислоты, концентрация которой в 0.1 мг/л приводит к гибели форели [2]. Сложный состав сточных вод требует применения комбинированных методов очистки. Стоимость только одной установки составляет 200 тыс. евро. Наряду с загрязнением большого объема промывных вод гальваническое производство загрязняет токсичными соединениями воздух (процессу меднения присущи выбросы оксидов азота и углерода, серной и соляной кислот [3]).

Анализ причин брака фрикционных дисков в условиях массового производства, показал, что на 90 % он связан с низким качеством сцепления гальванического слоя меди со стальной основой. На рисунке 1 показаны образцы фрикционных дисков с отслоением фрикционной накладки от основы при внешне качественном слое гальванической меди.

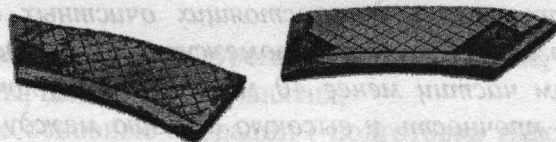


Рисунок 1 – Образцы бракованных фрикционных дисков.

Поэтому повышение адгезии стальной основы и фрикционной накладки путем создания экологически чистого промежуточного подслоя является актуальной научно-технической задачей в области изготовления фрикционных дисков.

### **Основная часть**

Современная методология создания новых изделий с высокой рентабельностью базируется на подходе, исходным моментом которого является требуемый комплекс эксплуатационных параметров изделия, а не заданный комплекс физико-механических свойств его отдельных узлов [4]. Поэтому, прежде чем приступить к созданию концепции

промежуточного экологически чистого подслоя, сформулируем комплекс эксплуатационных требований, предъявляемых рынком к фрикционному диску в целом:

- крутящий момент не менее 3 000 Н·м;
- ресурс работы не менее 9 000 моточасов;
- удельная стоимость не более 5 руб/(кг·ч).

При создании концепции рассмотрим три положения: промежуточный подслоя должен обладать высокой прочностью, обеспечивать надежную адгезию фрикционной накладки и стальной основы и выполнять функцию релаксации нескомпенсированных термонапряжений в процессе эксплуатации фрикционного диска.

*Первое положение.* При передаче крутящего момента  $M$  на границе фрикционная накладка – промежуточный подслоя возникают сдвиговые касательные напряжения, критические значения которых определяются максимальной величиной передаваемого крутящего момента, а также центробежными силами, возникающими при вращении фрикционного диска (рисунок 2):

$$dM = \tau_r \cdot r \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot dr, \quad (1)$$

где  $\tau_r$  – касательные напряжения, Па;

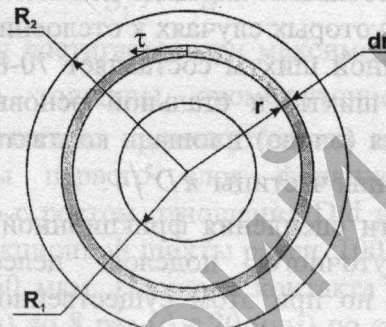


Рисунок 2 – Схема расчета касательных напряжений

Интегрирование уравнения (1) от  $R_1$  до  $R_2$  дает величину для касательных напряжений:

$$\tau_r = \frac{3 \cdot M}{2 \cdot \pi \cdot (R_2^3 - R_1^3)}, \quad (2)$$

где  $R_1, R_2$  – внутренний и внешний радиус фрикционной накладки, м.

Для  $M = 3000$  Н·м,  $R_2 = 0.1$  м,  $R_1 = 0.09$  м, получаем, что прочность сцепления на границах фрикционная накладка + промежуточный подслоя и стальная основа + промежуточный подслоя должна быть не менее 5.3 МПа.

Фрикционный диск вращается с угловой скоростью  $\approx 3000$  об/мин. Оценим напряжения, которые возникают под действием центробежных сил, так как они тоже могут привести к отслоению фрикционной накладки от стальной основы.

На элемент фрикционной накладки действует сила центробежная сила  $dF$ :

$$dF = a \cdot dm, \quad (3)$$

где  $a$  – центростремительное ускорение,  $a = \omega^2 \cdot R_2 = (2 \cdot \pi \cdot n)^2 \cdot R_2$ , м/с<sup>2</sup>;

$n$  – число оборотов вращения фрикционного диска в единицу времени, об/с;

$dm$  – масса элемента, равная  $dm = B \cdot h \cdot \rho \cdot dr$ , кг;

$B \cdot h$  – поперечная площадь элемента, м<sup>2</sup>;

$\rho$  – плотность материала фрикционной накладки, кг/м<sup>3</sup>.

Центробежная сила уравновешивается силой сцепления фрикционной накладки с промежуточным подслоем (или стальной основы и промежуточным подслоем):

$$dF = \tau_n \cdot B \cdot dr. \quad (4)$$

Приравняв уравнения (3) и (4) получаем для  $\tau_n$  следующее выражение:

$$\tau_n = (2 \cdot \pi \cdot n)^2 \cdot h \cdot \rho \cdot R_2 \quad (5)$$

При плотности фрикционной медной шихты  $500 \text{ кг/м}^3$ , толщине накладки  $\approx 1-2 \text{ мм}$ , внешнем радиусе диска  $0.1 \text{ м}$ , числу оборотов  $50 \text{ об/с}$  получаем, что максимальное напряжение  $\tau_n \approx 0.1 \text{ МПа}$ . Напряжение, возникающее под воздействием крутящего момента, в 50 раз больше напряжения центробежных сил, и поэтому вторым можно пренебречь.

*Второе положение.* В настоящее время большая часть фрикционных дисков, производимых на МолЗПМ, имеет промежуточный медный подслоя, наносимый на стальную подложку гальваническим способом. При нагревании фрикционного диска выше температуры плавления олова, промежуточный подслоя из меди покрывается жидким оловом, источником которого является фрикционная шихта. При температуре спекания при  $800 \text{ }^\circ\text{C}$  формируется слой бронзы ( $\text{Cu} + 10\% \text{ Sn}$ ), прочностные свойства которой значительно выше, свойств чистой меди. В результате между частицами фрикционной шихты и стальной основой возникает «прочная» зона контакта, обеспечивающая, как правило, прочность сцепления не ниже  $7 \text{ МПа}$ .

Однако относительно небольшая площадь контакта частиц фрикционной шихты со стальной основой, приводит в некоторых случаях к отслоению первой от второй. Пористость свободно насыпанной фрикционной шихты составляет  $70-80\%$  и, следовательно, площадь контакта частиц фрикционной шихты и стальной основы невелика (рисунок 3 (а)). В процессе жидкофазного спекания (олово) площадь контакта частицы увеличивается, но не более площади поперечного сечения частицы  $\pi D^2/4$ .

Для повышения прочности сцепления фрикционной шихты со стальной основой в качестве материала промежуточного подслоя целесообразно оставить хорошо зарекомендовавшую себя медь, но при этом существенно увеличить удельную площадь контакта. Увеличение площади контакта можно добиться за счет организации промежуточного подслоя из мелкодисперсного порошка меди (рисунок 3 (б)). Для этого, как показывают расчеты, диаметр порошка промежуточного подслоя  $d$  должен быть, по крайней мере, в 3-4 раза меньше, чем диаметр частиц фрикционной шихты  $D$ .



Рисунок 3 – Контакт сферической частицы

а) с плоской поверхностью; б) через слой мелкодисперсного порошка

Оценим влияние промежуточного порошкового подслоя на прочность сцепления фрикционной накладки со стальной основой. Согласно теории диффузионно-вязкого течения [5] рост площади контактной шейки в процессе спекания описывается следующим выражением:

$$S_1 = \pi \cdot x^2 = \frac{3 \cdot \pi \cdot D \cdot \sigma \cdot \tau}{4 \cdot \eta}, \quad (6)$$

где  $x$  – радиус контактной шейки, м;

$\sigma, \eta$  – коэффициент поверхностного натяжения вязкость расплава, Н/м и Па

$\tau$  – время, с.

Число контактов одной частицы фрикционной шихты с медным порошковым промежуточным подслоем  $N(h)$  при высоте подслоя  $h$  равно:

$$N(h) = \frac{S_{uw}(h)}{s} \cdot k = \frac{4 \cdot D \cdot h}{d^2} \cdot k, \quad (7)$$

где  $S_{uw}(h) = \pi \cdot D \cdot h$  - поверхность шарового сегмента, м<sup>2</sup>;  
s - фронтальная проекция площади медной частицы промежуточного подслоя на поверхность частицы фрикционной шихты,  $s = \pi \cdot d^2 / 4$ ;

k - степень укладки частиц промежуточного подслоя на поверхности частицы фрикционной накладки 0.785-0.873 (для дальнейших расчетов примем  $k = 0.83$ ).

Площадь контакта частицы фрикционной шихты с промежуточным порошковым подслоем после спекания можно оценить следующим образом:

$$S_2(h) = \pi \cdot x^2 \cdot N(h) = \frac{3 \cdot \pi \cdot k \cdot \sigma \cdot \tau}{\eta} \cdot \frac{D}{d} \cdot h \quad (8)$$

Отношение площадей контакта частиц фрикционной накладки с промежуточным подслоем из гальванической меди и промежуточным подслоем из мелкодисперсного порошка меди g имеет величину, определяемую следующим выражением:

$$g = \frac{S_2}{S_1} = \frac{4 \cdot h \cdot k}{d}, \quad (9)$$

Максимальное значение g достигается при максимальном значении  $h = D/2$  и равно  $1.67 \cdot D/d$  (большее значение толщины промежуточного подслоя практически не реализуется, так как медные частицы промежуточного подслоя механически не смогут проникнуть дальше половины первого слоя фрикционной накладки). Полученная зависимость (9) показывает, что с ростом отношения D/d увеличивается удельная площадь контакта. Диаметр порошка фрикционной шихты равен 100 - 120 мкм, максимальная высота промежуточного подслоя 50 - 60 мкм. Площадь контакта в предлагаемом способе может быть увеличена от 4 ( $d = 30$  мкм) до 8 раз ( $d = 20$  мкм) по сравнению с удельной площадью контакта частиц фрикционной шихты с гладким гальваническим подслоем меди.

Промежуточный порошковый подслоя выполняет еще одну функцию, которую в принципе не может выполнить подслоя из компактной меди - функцию «капиллярного насоса», инфильтрирующего расплав олова из фрикционной шихты к стальной основе. Это предположение основано на том, что высокая дисперсность порошка промежуточного подслоя обладает более высоким капиллярным потенциалом, нежели более крупный порошок фрикционной шихты. Следует отметить, что расплав припоя может двигаться из фрикционной накладки к стальной основе и под действием сил тяжести. Сравним эффективность обоих механизмов.

Столб расплава припоя, вызывающий давление  $\Delta P$ , рассчитывается по закону Паскаля:

$$\Delta P = \rho_{жс} \cdot g \cdot h, \quad (10)$$

где h - высота капли, м;  
 $\rho_{жс}$  - плотность расплава, кг/м<sup>3</sup>.

Капиллярное давление  $P_k$  определяется выражением:

$$P_k = \frac{4 \cdot \sigma \cdot \cos \theta}{d_n}, \quad (11)$$

где  $\theta$  - краевой угол смачивания, град;  
 $d_n$  - размер пор «капиллярного насоса»  $d_n \approx d/2 - d/5$  (зависит от формы частиц).

Отношение капиллярного давления к гравитационному давлению равно:

$$\frac{P_k}{\Delta P} = \frac{4 \cdot \sigma \cdot \cos \theta}{\rho \cdot g \cdot h \cdot d_n}. \quad (12)$$

Примем:  $\sigma = 0.3 \text{ Дж/м}^2$ ,  $\rho = 10^4 \text{ кг/м}^3$ ,  $h = D_n/2 = 510^{-5} \text{ м}$ ,  $d_n = 1 \cdot 10^{-5} \text{ м}$ ,  $\cos \theta = 0.5$ , тогда из уравнения (12) получается, что капиллярное давление превосходит гравитационное на 4 порядка.

Известно, что чем меньше диаметр капилляра, тем больше капиллярное давление. Однако скорость инфильтрации наоборот возрастает с увеличением диаметра капилляра [4]:

$$V = \sqrt{\frac{\Pi \cdot P_k \cdot K}{\eta \cdot \tau}} \quad (13)$$

где  $\Pi$  – пористость промежуточного подслоя;

$K = \Pi d_n^2 / (32B^2)$  – коэффициент проницаемости промежуточного подслоя,  $\text{м}^2$ ;

$B$  – коэффициент извилистости промежуточного подслоя ( $B = 2.5$ );

$\tau$  – время релаксации краевого угла смачивания,  $\tau = 1 \text{ с}$ .

Для оценки скорости инфильтрации примем:  $\Pi = 0.7$ ;  $d_n = 10^{-5} \text{ м}$ ;  $P_k = 610^4 \text{ н/м}$ ;  $\eta = 10^2 \text{ Пас}$ . При этих данных скорость инфильтрации составляет величину  $1 \text{ мм/с}$ . Поэтому время пропитки промежуточного подслоя расплавом припоя составляет  $0.05 \text{ с}$ .

То, что время пропитки составляет относительно небольшую величину, является положительным фактом. Припой должен быть инфильтрирован в промежуточный подслоя раньше, чем он растворится в медных частицах фрикционной шихты.

Таким образом, промежуточный подслоя из мелкодисперсного порошка  $\text{vtlb}$  способствует увеличению прочности сцепления фрикционной накладки со стальной основой, как за счет увеличения площади контакта, так и за счет инфильтрации расплава олова из фрикционной накладки к стальной основе и формирования бронзы в процессе спекания. Кроме того, увеличение прочности сцепления фрикционной накладки и стальной основы достигается за счет интенсификации диффузионных процессов на границе промежуточного подслоя и стальной основы.

*Третье положение.* Фрикционный диск в процессе эксплуатации подвергается циклическим, знакопеременным нагрузкам, обусловленным процессами нагрева-охлаждения. Возникновение термонапряжений на границе контакта двух разнородных материалов (фрикционная накладка и стальная основа) связано с разностью коэффициентов теплового расширения. Снижение нескомпенсированных термонапряжений может быть достигнуто за счёт согласования коэффициентов теплового расширения слоистой системы благодаря пластическому промежуточному подслою. Так как коэффициенты теплового расширения для олова-меди-железа соответственно равны  $22.4 \cdot 10^{-6}$  -  $16.8 \cdot 10^{-6}$  -  $14 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ , то бронза со значением  $18 - 20 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$  (в зависимости от состава) эффективно согласует переход по этому параметру.

### Заключение

На основе анализа комплекса эксплуатационных параметров, предъявляемых к фрикционному диску, сформулированы следующие требования к составу, конструкции и физико-механическим свойствам промежуточного подслоя:

- материал медь;
- гранулометрический состав менее  $40 \text{ мкм}$ ;
- толщина  $50 - 60 \text{ мкм}$ ;
- прочность не менее  $5 \text{ МПа}$ ;
- прочность сцепления со стальной основой не менее  $5 \text{ МПа}$ ;
- коэффициент теплового расширения  $16 - 20 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ .

Замена промежуточного подслоя из гальванической меди на промежуточный подслоя из порошковой меди позволяет сохранить все достоинства широко распространенного способа производства фрикционных дисков, но при этом снизить себестоимость и сделать процесс экологически чистым за счет устранения экологически грязной гальванической операции.

### Литература

1. Звонарёв Е.В., Сыроежко Г.С., Лешок А.В. К вопросу пайки фрикционного материала к стальной основе // Известия национальной Академии наук Беларуси. Серия физико - техн. наук. – Минск. – 2004. – № 4. – С. 69.
2. Шлугер М.А. Гальванические покрытия в машиностроении/ В 2-х томах. - М.: Машиностроение, 1985. - 248 с.
3. Лайнер В. И. Защитные покрытия металлов. - М.: Металлургия, 1974. – 172 с.
4. Леонов А.Н., Дечко М.М., Шелег В.К. Пористые проницаемые материалы: Теория проектирования изделий и технологий. - Минск: Тонпик, 2003.-218 с.
5. Экспериментальное определение остаточных напряжений в соединениях металл-керамика. Bull. Cercle etud metaux, 1993. – 16. - N7 P .2311-2318.

УДК 631.362.3

## ОБОСНОВАНИЕ И РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА СОРТИРОВАНИЯ КОРНЕПЛОДОВ МОРКОВИ

Заец А.М. (БГАТУ)

*Описана технология расчета основных показателей процесса сортирования корнеплодов моркови. Изложены основные требования международных и межгосударственных нормативных документов к качеству моркови. Приведены результаты экспериментальных исследований физико-механических свойств корнеплодов, позволяющих обеспечить расчёт и оптимизировать параметры конструкции.*

Морковь поступающую для реализации в сыром виде необходимо подготовить в соответствии с ГОСТ 1721-85 [1], ГОСТ Р 51782-2001[2] либо стандарта ЕЭК ООН FFV-10 [3]. Качество моркови свежей оценивают по ГОСТ 1721-85 «Морковь столовая свежая заготавливаемая и поставляемая». В соответствии с требованиями и нормами этих технических условий, корнеплоды моркови, поставляемые для потребления в свежем виде и для промышленной переработки по внешнему виду должны быть целыми, чистыми, не увядшими, не треснувшими, без повреждений сельскохозяйственными вредителями, не уродливыми по форме, с длиной оставшихся черешков не более 2,0 см. Размер корнеплодов по наибольшему поперечному диаметру для сорта Шантанэ 2461 должен быть в пределах от 3,0 до 7,0см, а для остальных сортов 2,5...6,0см. В партии допускается не более 10% корнеплодов с отклонением в диаметре на 0,5см от установленных размеров.[1]

В Российской Федерации введён стандарт ГОСТ Р 51782-2001 «Морковь столовая свежая, реализуемая в розничной торговой сети». Согласно этого нормативного документа морковь в зависимости от качества подразделяют на три класса: экстра, первый и второй. Общие нормы для внешнего вида корнеплодов всех классов совпадают с приведенными выше. Размер корнеплодов по наибольшему поперечному диаметру убранных до 1 сентября для всех классов должен находиться в диапазоне 2...4 см, после 1 сентября для классов:

экстра —  $(2,0...4,5) \pm 0,5$ см;

первого —  $(2...6) \pm 0,5$  см

второго —  $(2... 7) \pm 0,5$  см.

Количество корнеплодов с отклонением от установленных по диаметру размеров допускается для класса экстра не более 5 %, для первого и второго класса 10% от массы. Размер корнеплодов по длине для класса «экстра» и первого класса должен быть не менее 10 см, для второго класса — не нормируется.

Розничная торговля требует расфасовки в упаковочные единицы однородной моркови по качеству и размеру. В одной упаковочной единице разница между наименьшим и наибольшим диаметром корнеплодов не должна превышать: для класса «экстра» — 1,0см, первого класса—2,0см, для второго класса не нормируется. [2]