

УДК 621.43.001.4

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВИНТОВЫХ КАНАВОК ДЛЯ МЕТАЛЛИЗАЦИИ ГИЛЬЗЫ ЦИЛИНДРОВ

М.И. Субаев, магистрант, тел. 8(8422) 55-95-13, subaeva.ak@mail.ru

И.Р. Салахутдинов, кандидат технических наук, доцент

тел. 8(8422) 55-95-13, iltas.73@mail.ru

А.А. Глущенко, кандидат технических наук, доцент

тел. 8(8422) 55-95-13, oildei@yandex.ru

ФГБОУ ВО Ульяновская ГСХА

Ключевые слова: гильза цилиндров, металлизация, износ, вставка, площадь контакта, винтовые канавки, угол наклона, контртело.

Работа посвящена теоретическому обоснованию формы, геометрических размеров и количеству винтовых канавок для металлизации гильзы цилиндров. В результате теоретических исследований установлено, что формирование слоя меди на поверхности трения гильзы толщиной 2...3 мкм обеспечивается нарезанием на ее внутренней поверхности двух встречных винтовых канавок с шагом 17 мм, углом наклона к диаметральной плоскости гильзы цилиндров $\alpha = 3,2^\circ$, шириной и глубиной $b = 1,5$ мм. Металлизация гильзы цилиндров медью позволит в 3,1 раза снизить линейный износ рабочей поверхности гильзы.

Введение. Металлизация - покрытие поверхности изделия металлами и сплавами для сообщения физико-химических и механических свойств, отличных от свойств металлизированного (исходного) материала. Металлизацию применяют для защиты изделий от коррозии, износа, эрозии, в декоративных и др. целях. По принципу взаимодействия металлизированной поверхности (подложки) с наносимым металлом различают металлизацию, при которой сцепление покрытия с основой (подложкой) осуществляется механически - силами адгезии (рис. 1, группа 1), и металлизацию, при которой сцепление обеспечивается силами металлической связи (рис. 2, группа 2): с образованием диффузионной зоны на границе сопрягающихся поверхностей, за пределами которой покрытие состоит из наложенного слоя металла или сплава (подгруппа 2а), и с образованием диффузионной зоны в пределах всего слоя покрытия (подгруппа 2б) [1].

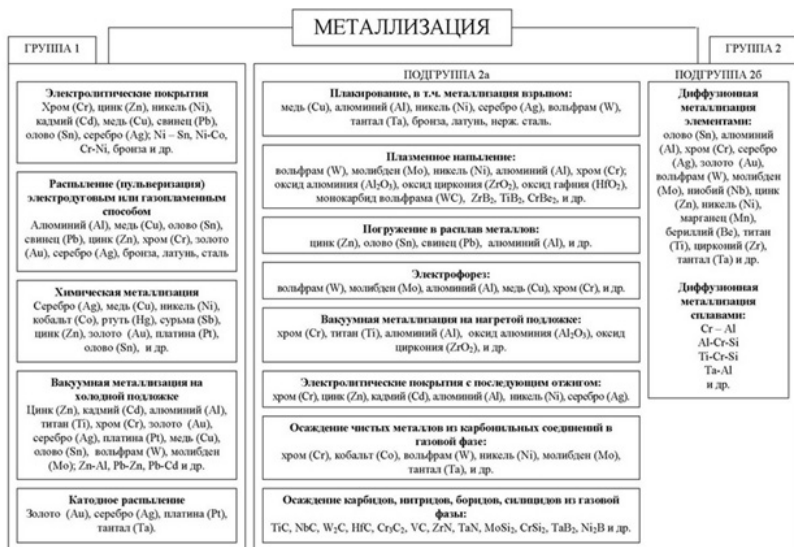


Рисунок 1 - Методы нанесения металлических покрытий

Материалы и методы исследований. Из всей совокупности существующих методов металлизации рабочих поверхностей наиболее целесообразным является использование вставок металлов [2,3]. Однако использование данного метода требует обоснования геометрических параметров наносимых вставок.

Одним из факторов обеспечения снижения износа является отношение площади вставок цветного материала к площади гильзы цилиндров и угол их наклона.

При возвратно-поступательном движении трущихся поверхностей их износ зависит от угла атаки (внедрения) одной поверхности (контртела) в другую. Поэтому тип деформации (упруго или пластично) материала вставки и его оттеснение будет зависеть от угла наклона вставки к направлению движения поршневых колец. С учетом этого коэффициент трения может быть выражен формулой:

$$f = \frac{\tau_c}{HB} + tg\alpha, \quad (1)$$

где τ_c - среднее сопротивление срезу; α - угол, составляемый фактиче-

ской площадью контакта с направлением силы трения, HV – твердость материала вставки.

Действующая деформация растяжения материала ε , при скольжении внедрившейся поверхности, будет пропорциональна коэффициенту трения и тангенсу угла наклона вставки:

$$\varepsilon = c \cdot f \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (2)$$

где c – коэффициент формы вставки.

Подставив в (2) значение коэффициента трения, получим:

$$\varepsilon = c \left(\left(\frac{R}{h} \right)^{\frac{3}{7}} \frac{3\tau_c}{P_c^{\frac{1}{7}} E^{\frac{6}{7}}} + \beta \right) \operatorname{tg} \alpha. \quad (3)$$

При линейном напряжении, характеризующем работу ЦПГ, значение деформации соответствует пределу текучести материала, то есть $\varepsilon = \sigma_T$ и при достижении критического значения $\varepsilon > \sigma_T$, деформация перейдет из упругой в пластическую. Это приведет к нарушению режима покрытия трущейся поверхности металлом вставки. Таким образом, для обеспечения режима покрытия внутренней поверхности гильзы цилиндров цветным металлом необходимо выполнение условия $\varepsilon \leq \sigma_T$.

То есть:

$$\varepsilon = c \left(\left(\frac{R}{h} \right)^{\frac{3}{7}} \frac{3\tau_c}{P_c^{\frac{1}{7}} E^{\frac{6}{7}}} + \beta \right) \operatorname{tg} \alpha \leq \sigma_T. \quad (4)$$

При контакте поршневых колец со вставкой контактное давление будет определяться [4]:

$$P_K = 0,918 \sqrt[3]{\frac{P_c E_1}{S_{\text{нк}} (1 - \mu_1^2)}}, \quad (5)$$

где $S_{\text{нк}}$ – площадь контакта поршневого кольца с вставкой, мм².

Деформация сжатия материала вставки:

$$\varepsilon_c = 1,04 \sqrt[3]{\frac{P_K (1 - \mu_1^2)}{S_{\text{нк}} E_1}}. \quad (6)$$

Пренебрегая μ_1 , как величиной меньшей единицы, получим:

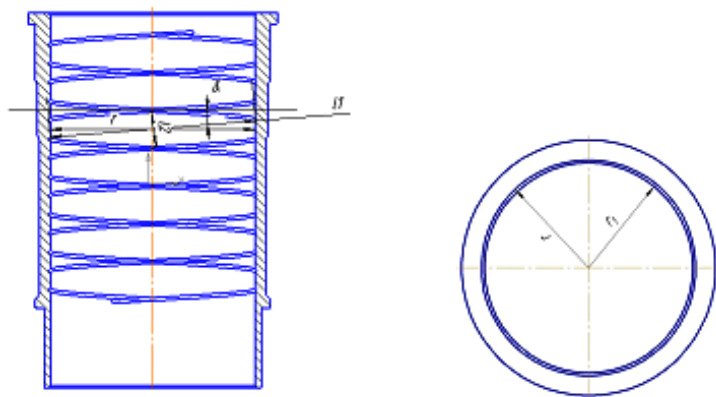


Рисунок 2 - Схема расчета геометрических параметров вставки

$$\varepsilon_c = 2,4 S_{\text{вк}} \left(\frac{P_K}{E_1} \right)^2. \quad (7)$$

Тогда угол наклона вставки будет определяться как:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\varepsilon}{c \left(\left(\frac{R}{h} \right)^{\frac{3}{2}} \frac{3 \varepsilon_c}{P_K^{\frac{1}{2}} E^{\frac{3}{2}}} + \beta \right)}. \quad (8)$$

Как видно из формулы (8), чем меньше деформация растяжения металла, давление в контакте, тем меньше угол наклона.

Необходимо отметить, что угол наклона вставки будет ограничиваться геометрическими параметрами гильзы и величиной хода поршня.

Зная угол наклона вставки, проведем расчет геометрических параметров канавки и объем необходимого металла для обеспечения снижения износа (рис. 2).

Шаг винтовой канавки (h) определяется:

$$h = \operatorname{tg} \alpha \pi D, \quad (9)$$

где D – диаметр гильзы цилиндра, мм.

Объем винтовой канавки вставки меди

$$V_b = n l b a, \quad (10)$$

где n – количество витков канавки, l – длина одного витка, мм; a и b – соответственно ширина и глубина канавки, мм.

Исходя из условия покрытия всей трущейся поверхности гильзы цилиндров металлом, и соблюдая требования положительного механического градиента, определим объем металла в вставках. Это может быть осуществлено только в том случае, если глубина внедрения поршневых колец не превышает толщины покрытия поверхности гильзы металлом вставки. Исходя из этого и зная высоту неровностей поверхности гильзы цилиндров, определим объем металла, необходимый для покрытия трущейся поверхности гильзы.

$$V_m = \pi \{ r^2 - r_1^2 \} L, \quad (11)$$

где r – радиус гильзы, мм, r_1 – радиус покрытия гильзы металлом, мм; L – ход поршня, мм.

При этом необходимо выполнение условия

$$r^2 - r_1^2 > h_{\max}^2, \quad (12)$$

где $h_{\max}$ – максимальная высота неровностей поверхности гильзы цилиндра, мм.

Для расчета количества вставок в гильзе цилиндров и уточнения их геометрических параметров необходимо рассчитать количество металла, снимаемого с одной вставки поршневыми кольцами.

Объем снимаемого металла:

$$V_c = h S_B, \quad (13)$$

где h – глубина внедрения поршневого кольца в вставку металла, мм.

Необходимо отметить, что в реальных условиях работы цилиндро-поршневой группы глубина внедрения поршневых колец в вставку металла будет уменьшаться с каждым возвратно-поступательным циклом, и достигнет нулевого значения при выравнивании поверхности трения (равномерного покрытия поверхности гильзы цилиндра слоем цветного металла). При снижении слоя цветного металла (износе пленки металла) на трущейся поверхности гильзы, возникнет разность высот слоя металла в зоне вставки и трущейся поверхности гильзы, что повлечет за собой увеличение глубины внедрения и снятие очередного слоя металла вставки с последующим его «намазыванием» на поверхность трения гильзы. Таким образом, цикл повторяется, что является залогом металлизации трущейся поверхности гильзы цилиндра.

Зная объем слоя цветного металла V_c , снимаемого с вставки поршневым кольцом, рассчитаем количество вставок:

$$N = \frac{V_m}{V_c}. \quad (14)$$

В условиях пластического контакта внешнее трение возможно лишь при незначительном внедрении контактирующих поверхностей, поэтому ширина металла канавки меди не должна превышать толщины поршневого кольца 2 мм. А, исходя из технологического процесса изготовления канавок и параметров режущего инструмента, принимаем ширину канавки $b = 1,5$ мм. Учитывая, что гильза цилиндров двигателя УМЗ имеет три ремонтных размера, чередующихся через 0,5 мм, глубину канавки принимаем 1,5 мм.

Результаты исследований и их обсуждение. В результате проведенных расчетов было установлено следующее. Угол наклона канавок вставки к поверхности гильзы цилиндра составил $\alpha = 3,2^\circ$. Площадь вставки $S_b = 444,6$ мм². Количество цветного металла, необходимого для покрытия трущейся поверхности гильзы цилиндра для обеспечения положительного механического градиента $V_m = 1,033$ мм². Шаг канавки $h = 17$ мм. Количество винтовых канавок $n = 2$. Соотношение площади винтовых канавок, заполненных медью, к рабочей поверхности трения гильзы цилиндров составит 8,3 %.

Следовательно, площадь гильзы с металлизированной медью поверхностью равной не менее 8,3 %, обеспечит образование антифрикционной пленки толщиной 2...3 мкм на всей рабочей поверхности трения гильзы цилиндров и снижение ее износа.

На основании полученных геометрических параметров винтовых канавок, заполненных медью, определим линейный износ типовой и металлизированной гильз цилиндров:

$$I_A^r = \frac{0,247 \cdot 0,5 \cdot 222,3 \cdot 1,3^{\frac{1}{3}} \cdot 1,8^{\frac{1}{3}} (1,6 \cdot 10^5 + 1,6 \cdot 10^5)^{\frac{2}{3}} [2 \cdot 110 (1 - 0,22^2)]^{\frac{2}{3}} 0,2^{\frac{2}{3}}}{1 \cdot 1461732,8 (1,6 \cdot 10^5 \cdot 1,6 \cdot 10^5)^{\frac{2}{3}} 110} =$$

$$= 1,5 \cdot 10^{-9} \text{ мм/мм.}$$

$$I_A^B = \frac{0,247 \cdot 0,2 \cdot 222,3 \cdot 1,3^{\frac{1}{3}} \cdot 0,8^{\frac{1}{3}} (1,2 \cdot 10^5 + 1,6 \cdot 10^5)^{\frac{2}{3}} [2 \cdot 110 (1 - 0,32^2)]^{\frac{2}{3}} 0,2^{\frac{2}{3}}}{1 \cdot 1461732,8 (1,2 \cdot 10^5 \cdot 1,6 \cdot 10^5)^{\frac{2}{3}} 110} =$$

$$= 4,9 \cdot 10^{-10} \text{ мм/мм.}$$

Заключение. Как видно из проведенных расчетов, линейный износ металлизированной гильзы цилиндров в 3,1 раза ниже, чем у типо-

вой гильзы. Таким образом, проведенные расчеты позволяют сделать вывод, что металлизация поверхности гильзы цилиндров винтовыми канавками, заполненными медью, позволит снизить износ трущейся поверхности гильзы.

Библиографический список

1. http://tracemetals.ru/a_metal.htm [Интернет - ресурсы].
2. Салахутдинов, И.Р. Повышение износостойкости гильз цилиндров бензиновых двигателей металлизацией рабочей поверхности трения / И.Р. Салахутдинов, А.Л. Хохлов // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. г. Ульяновск. №2 (18). Апрель 2012. Стр. 101-106
3. Салахутдинов, И.Р. Повышение износостойкости гильз цилиндров бензиновых двигателей биметаллизацией рабочей поверхности трения: монография / И.Р. Салахутдинов, А.Л. Хохлов. – Ульяновск: УГСХА им. П.А.Столыпина, 2012. – 180 с.
4. Конвисаров, Д.В. Трение и износ металлов. М.: Машгиз, - 1947. -184 с.
5. Archard J.F. and Hirst W. The Wear of Metals under Unlubricated Conditions. «Proc. R. Soc». 1956, Nr. 1206, vol. 236, pp. 397 – 410.

THEORETICAL BASIS OF FORMS, GEOMETRIC SIZE AND NUMBER OF HELICAL GROOVES WHEN METALLISED CYLINDER LINERS

Subayev M.I., Salakhutdinov I.R., Glushchenko A.A.

Keywords: *cylinder liner, metal, wear, insert the contact area, helical grooves, angle, rider.*

The work is devoted to theoretical substantiation form, dimensions and number of helical grooves with metallization cylinder liners. On the basis of theoretical studies, the authors found that the angle of inclination to the insertion grooves diametral plane of the cylinder liner $\alpha = 17,2^\circ$, the groove width $b = 1,5$ mm., The groove depth 1.5 mm. Maintaining a layer of copper on the surface of the friction liner 2 ... 3 mm thick is provided with screw grooves 6, which corresponds to 8.3% with respect to the working surface of the cylinder liner friction. According to calculations linear wear metallic cylinder liners is 3.1 times lower than that of a typical cartridge.