

УПРУГАЯ ДЕФОРМАЦИЯ ПОДВЕСОВ КЛИНОВЫХ РЕЗЦОВ ТОРЦЕВОЙ ФРЕЗЫ ПРИ РЕЗАНИИ НАЛЕДИ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ

Шурашов А.Д.¹, Кулепов В.Ф.¹, Горшков А.С.¹, Малыгин А.Л.¹, Никандров И.С.¹

¹Дзержинский политехнический институт Нижегородского государственного технического университета, г.Дзержинск, Россия (606029, Нижегородская обл., г. Дзержинск, ул. Гайдара, 49), e-mail: gorshkov_as@mail.ru

Для очистки и уборки дорожного покрытия в прибордюрных зонах наиболее эффективно используются механические фрезы с клиновыми режущими органами. Торцевая дисковая фреза оборудуется резцами, подвешенными на упругих подвесах, которые закрепляются по периметру вращающегося диска. Предложено в качестве подвеса резцов использовать отрезок стального каната. В ходе исследования была определена полная энергия упругой деформации каната с учетом расположения острия резца на оси y и смещения острия резца на расстояние, равное половине его ширины к правой кромке по ходу движения резца. Аналитическим методом определены углы поворота отрезков стального каната, соответствующие пластической деформации и максимальные нормальные напряжения, возникающие при изгибе каната. При колебании сопротивления резанию наледи в пределах $8 \div 30$ кН/м, угол закручивания каната меняется в пределах $12 \div 25$ градусов. Без учета потерь на трение в проволоках каната и его нагрев при длине подвеса резца 200 мм, ширине резца 60 мм и числе резцов, одновременно участвующих в резке, равном 10, аккумулируемый запас энергии составляет $2,1 \div 4,9$ кВт.

Ключевые слова: наледь, резание, торцевая фреза, подвес, угол закручивания, пластическая деформация.

ELASTIC DEFORMATION OF THE SUSPENSIONS OF THE FACE MILLING CUTTER CUTTING ROAD ICE OF PAVEMENT

Shurashov A.D.¹, Kulepov V.F.¹, Gorshkov A.S.¹, Maligin A.L.¹, Nikandrov I.S.¹

¹Dzержинsky Polytechnic Institute of Nizhny Novgorod State Technical University. Dzerzhinsk, Russia (606029, Dzerzhinsk, Gaydar st, 49) e-mail: gorshkov_as@mail.ru

To clean the road surface in areas near curbs the most efficient use of mechanical cutters with cutting wedge bodies. Face milling cutter is equipped with cutters suspended on an elastic suspensions which are fixed on the perimeter of the rotating disk. Proposed as suspension cutters to use a segment of the wire rope. During the research it was determined the total energy of elastic deformation of the rope with respect to the location of the edge of the cutter on the y -axis and displacement of the cutter edge at a distance equal to half its width to the right edge in the direction of travel of the cutter. The analytical method determined the rotation angles of the segments of the wire rope, the corresponding plastic strain and the maximum normal stresses in bending of the rope. When the fluctuation of the resistance to cutting ice within $8 \div 30$ kN/m, the angle of twist of the rope varies within $12 \div 25$ degrees. Without taking into account friction losses in the wire rope and heat when the length of the suspension cutter 200 mm, the width of the cutter 60 mm and the number of incisors, while participating in cutting, equal to 10, the accumulated energy is $2.1 \div 4.9$ kW.

Keywords: road ice, cut, face milling cutter, suspension, the angle of twist, elastic deformation.

Качественное содержание дорог в зимний период является важнейшей задачей дорожных служб. Наиболее трудоемкой и сложной является уборка наледи и уплотненного снега в прибордюрных зонах. Постепенное зарастание данной зоны снежно-ледовой массой приводит к постепенному смещению проезжей полосы каждого направления движения к осевой линии улицы. В результате снижается скорость движения транспорта в потоке и снижается безопасность проезда транспортных средств.

Для очистки и уборки дорожного покрытия в прибордюрных зонах наиболее эффективно используются механические фрезы с клиновыми режущими органами [1, 3, 4]. Торцевая дисковая фреза оборудуется резцами, подвешенными на упругих подвесах,

которые закрепляются по периметру вращающегося диска. Предложено в качестве подвеса резцов использовать отрезок стального каната. В силу упругости каната, резец с подвесом при взаимодействии с наледью может совершать упругие колебательные движения. Величина упругой деформации каната будет определяться в первую очередь геометрической формой резца.

Цель работы

Определить влияние формы резца фрезы на энергию упругой деформации каната и установление углов закручивания, соответствующих пластической деформации при скручивании.

Экспериментальная часть

Аналитическим методом определены углы поворота отрезков стального каната, соответствующие пластической деформации и максимальные нормальные напряжения, возникающие при изгибе каната.

Результаты и их обсуждение

При неравномерной нагрузке от сопротивления наледи резанию в зависимости от формы клина резца и способа его крепления к подвесу возможно возникновение в подвесе вращающего усилия, приводящего к повороту резца относительно вектора движения при резании.

Следует рассмотреть вариант расположения острия резца на оси y (рисунок 1) и вариант смещения острия резца на расстояние, равное половине его ширины к правой кромке по ходу движения резца (рисунок 2).

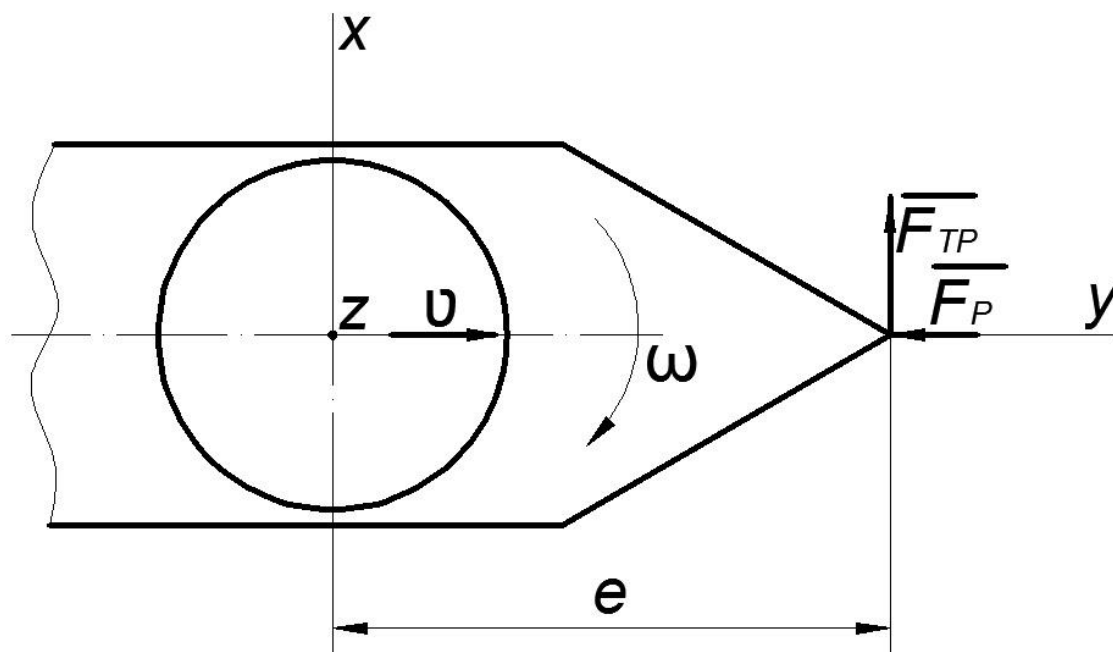


Рис. 1. Схема резца с расположением острия на оси y

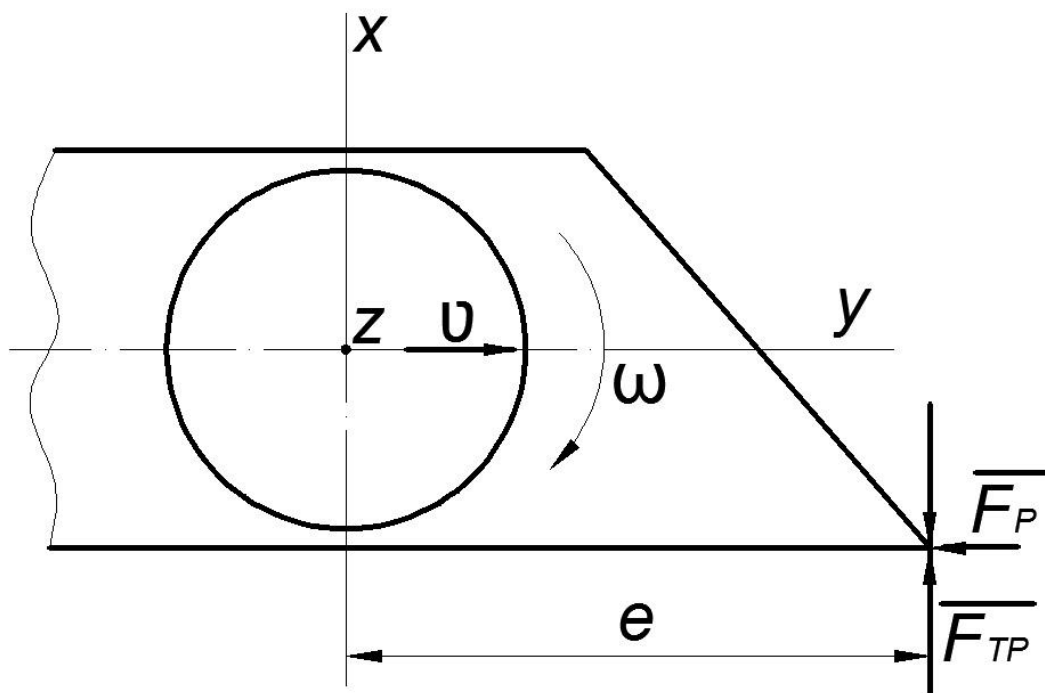


Рис. 2. Схема резца со смещением острия на расстояние, равное половине его ширины к правой кромке по ходу движения резца

По первому варианту в динамической системе действуют сила трения F_{mp} и сила сопротивления среды резанию F_p .

Обладая плечом e относительно оси каната z , вектор силы трения создает крутящий момент относительно оси каната M_k равный:

$$M_k = F_{mp} \cdot e = F_p \cdot f \cdot e \quad (1)$$

где f – коэффициент трения, равный для трения стали по льду 0,027 [5];

e – расстояние от оси каната до вектора $\overline{F_{TP}}$.

Исходя из условий жесткости, полный угол закручивания каната будет равен:

$$\varepsilon = M_k \cdot l_n / (G \cdot J_p) \quad (2)$$

где G – модуль сдвига материала каната;

J_p – полярный момент инерции поперечного сечения каната;

l_n – длина проволоки каната.

$$J_p = \sum \frac{\pi \cdot d_i^4}{32} = \frac{\pi}{32} \sum d_i^4 \quad (3)$$

где d_i – диаметр проволоки каната.

При жесткой заделке подвеса резца на диске торцевой фрезы и защемлении клина в слое наледи в канате возникают изгибающие моменты m_R в соответствии со схемой, представленной на рисунке 3.

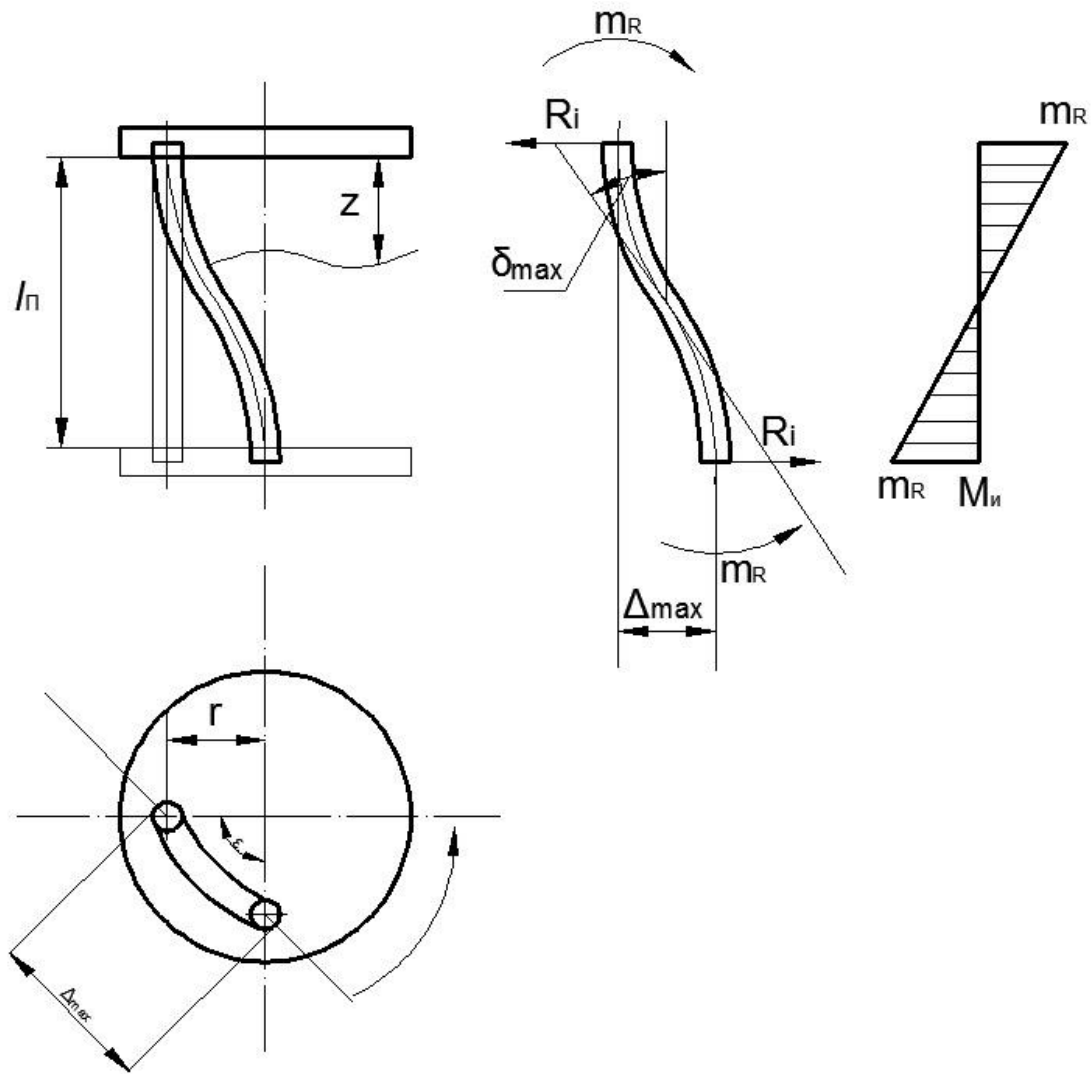


Рис. 3. Схема жесткой заделки повеса резца на диске торцевой фрезы с защемлением клина в слое наледи

Изменение изгибающего момента вдоль оси z проволоки от реактивного момента m_R и реактивной силы R_i :

$$m_R = \frac{R_i \cdot l_n}{2} \quad (4)$$

$$M_u = \frac{R_i \cdot l_n}{2} - R_i \cdot z \quad (5)$$

где R_i – линейная реакция i -го элемента каната от усилия резания резца.

Интегрирование данного уравнения позволяет определить величину изменения угла поворота поперечного сечения каната, которая представляет собой параболу с центром симметрии вдоль оси движения резца:

$$\delta = \int \frac{M_u dz}{EJ_x} = \left(\frac{R_i \cdot l_n}{2} z - \frac{R_i z^2}{2} \right) / EJ_x \quad (6)$$

где J_x – осевой момент инерции поперечного сечения каната;

E – модуль упругости каната.

Уравнение параболической кривой перемещения оси упругого элемента торцевой фрезы имеет вид:

$$\Delta = \int \delta dz = \left(\frac{R_i \cdot l_n \cdot z^2}{4} - \frac{R_i \cdot z^3}{6} \right) / EJ_x \quad (7)$$

Тогда:

$$\Delta_{max} = \frac{R_i \cdot l_n^3}{12EJ_x} \quad (8)$$

Считая Δ_{max} равным длине дуги εr , находим, что

$$R_i = \frac{12EJ_x \cdot \Delta_{max}}{l_n^3} = \frac{12EJ_x \varepsilon r}{l_n^3} \quad (9)$$

Резец, закрепленный на гибком подвесе, в случае защемления с более твердым участком срезаемой наледи будет отклоняться на большее расстояние от вертикального положения. В нем могут возникать при этом растягивающие и скручивающие усилия. В результате гибкий подвес может аккумулировать часть энергии, расходуемой на преодоление возросшего сопротивления вращению диска фрезы. Аккумулированная энергия возвращается позднее и расходуется на перемещение срезанной наледи.

Потенциальная энергия упругой деформации скручивания каната, реализуемая при перемешивании срезаемой массы, равна:

$$U_k = \frac{M_k \varepsilon}{2} = \sum_1^m \frac{M_{kj} \cdot \varepsilon}{2} Z_j \quad (10)$$

где m – количество типоразмеров;

j – номер данного типоразмера.

Потенциальная энергия упругой деформации изгиба одной проволоочки i – го слоя равна:

$$U_{ni} = \int_{l_n} \frac{M_{ni} d\delta}{2} Z_i = \int_{l_n} \frac{M_{ni}^2 Z_i dz}{2EJ_x} = \frac{\int \left(\frac{R_i l_n}{2} - R_i z \right)^2 Z_i dz}{2EJ_x} = \frac{\int \left(\left(\frac{R_i l_n}{2} \right)^2 - 2 \frac{R_i l_n}{2} R_i z + (R_i z)^2 \right) Z_i dz}{2EJ_x} =$$

$$\frac{144E^2 J_x^2 \varepsilon^2 r^2 l_n^3}{24 l_n^6 EJ_x} Z_i = \frac{6EJ_x \varepsilon^2 r^2}{l_n^3} Z_i \quad (11)$$

Для каната одинарной свивки типа ТК с числом проволок в слое $(1+6+12) = 19$ по ГОСТ 3063-80[2]: $d_k = 19$ мм, $d_1 = 4$ мм, $d_i = 3.8$ мм.

Угол закручивания круглого сечения ε равен:

$$\varepsilon = \frac{M_k l_n}{(\pi d^4 / 64) G} \quad (12)$$

и обратно пропорционален четвертой степени диаметра:

$$\varepsilon \sim \frac{1}{d^4} \quad (13)$$

Следовательно, скручивающий момент равен:

$$M_k \sim d^4 \quad (14)$$

Отсюда для каждого из слоев каната:

$$\begin{aligned} M_{k_1} &= \left(\frac{4}{3.8}\right)^4 M_{k_{2,3,4}} = 1.23 M_{k_{2,3,4}} \\ M_k &= 1.23 M_{k_{2,3,4}} + 18 M_{k_{2,3,4}} = 19.23 M_{k_{2,3,4}} \\ M_{k_1} &= \left(\frac{M_k}{19.23}\right) 1.23 = 0.064 M_k \\ M_{k_2} &= M_{k_3} = M_{k_4} = \frac{M_k}{19.23} = 0.052 M_k \end{aligned}$$

С учетом значений M_{ki} величина угла закручивания равна:

$$\varepsilon = \frac{(F_{mp} e^{-\sum_1^m \frac{M_{kj}}{2} Z_j}) l_n^3}{6E \sum_1^k r_i^2 Z_i J_{xi}} = \frac{128 l_n^3 F_p f e}{9E \pi d_2^4 (11d_1^2 + 50d_1 d_2 + 35d_2^2)} \quad (15)$$

При использовании резца со смещенным острием клина на расстояние, равное половине его ширины, к правой по ходу движения стороне резца. При этом клин резца имеет скос к радиусу диска на угол β . В этом случае при резании в подвесе возникает закручивающее усилие.

Полная энергия упругой деформации каната (U) для кручения и изгиба равна:

$$U = U_K + U_u = \sum_1^m \frac{M_{kj} \varepsilon}{2} Z_j + \sum_1^k \frac{6E J_{xi} \varepsilon^2 r_i^2}{l_n^3} Z_i = F_{mp} e \varepsilon - F_p \frac{b}{2} \quad (16)$$

где b – ширина резца.

Из равенства угол закручивания равен:

$$\varepsilon_{1,2} = \frac{(F_{mp} e^{-\frac{1}{2} \sum_1^m M_{kj} Z_j}) \pm \sqrt{(F_{mp} e^{-\frac{1}{2} \sum_1^m M_{kj} Z_j})^2 - \frac{12EF_p b}{l_n^3} \sum_1^k J_{xi} r_i^2 Z_i}}{\frac{12E}{l_n^3} \sum_1^k J_{xi} r_i^2 Z_i} \quad (17)$$

Меньшее значение корня соответствует реальному углу поворота сечения.

При колебании сопротивления резанию наледи в пределах $8 \div 30$ кН/м угол закручивания каната меняется в пределах $12 \div 25$ градусов.

Без учета потерь на трение в проволоках каната и его нагрев при длине подвеса резца 200 мм, ширине резца 60 мм и числе резцов, одновременно участвующих в резке, равном 10, аккумулируемый запас энергии составляет $2,1 \div 4,9$ кВт.

Заключение

Анализом усилий закручивания торсионов подвески клиновых резцов при резке наледи с дорожного покрытия показано протекание колебательных кручений каната и резца в пределах $12 \div 25$ градусов.

Список литературы

1. Возный Ю.Н. Устройство для рыхления и скалывания снежно-ледяных образований на дорожных покрытиях // Патент России № 2263177. 27.10.2005. Бюл. № 30.
2. ГОСТ 3063–80. Канат одинарной свивки типа ТК конструкции 1x19 (1+6+12). Сортамент. – Введ. 1982–01–01. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1996. – 21 с.: ил.
3. Жубрина Т.В. Устройство для удаления снежно-ледяных образований с дорожных покрытий// Патент России № 91343. 10.02.2010. Бюл. № 4.
4. Рыжов Н.А., Пикулин В.В., Константинова С.И. Устройство для скалывания снежно-ледяных образований на дорожных покрытиях // Патент России № 94582. 27.05.2010. Бюл. № 15.
5. Справочник проектировщика промышленных, жилых и общественных зданий и сооружений. Расчетно-теоретический. В 2 кн. Кн. 1 / Под ред. А.А. Уманского. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1972. – 600 с.

Рецензенты:

Луконин В.П., д.т.н., профессор, генеральный директор НИИ Полимеров им. А.А. Каргина, г. Дзержинск.

Сажин С.Г., д.т.н., профессор, генеральный директор ООО НТЦ «АСТ», г. Дзержинск.