УДК 621.3

DOI: 10.31563/1684-7628-2018-47-3-108-113

А.Ф. Фаюршин, Р.Ф. Масыгутов

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ УПРОЧНЕНИЯ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН

Ключевые слова: рабочие органы; абразивное изнашивание; способы упрочнения; теория резания.

Введение. При формообразовании самозатачивающегося лезвия резание пилообразным лезвием во многих случаях эффективнее, чем гладким. Коэффициент свободы подрезаемого материала при резании таким лезвием больше двух [4, 5].

Целью исследования являлось повышение долговечности рабочих органов почвообрабатывающих сельскохозяйственных машин (на примере лап культиватора) путем нанесения на лезвия порошковых износостойких композиционных материалов и получение самозатачивающегося пилообразного лезвия. Исследовались размеры, расположение зерен в связующем упрочненном слое, определены параметры взаимодей-

ствия образованного пилообразного лезвия с подрезаемым растением.

Материалы и методы исследования. Обоснуем шаг между зернами износостойкого композиционного материала, нанесенного газопламенным способом на лезвия стрелчатых лап культиваторов теоретическим способом. В упрочненном слое (рисунок 1) зерна покрытия находятся в зоне связки и образующая у лезвия ножа проходит через линию av . Так как материал связующего менее износостоек, при движении лапы в направлении скорости v предельный износ связки будет соответствовать кривой $adcb$. Если линия cd не будет пересекать тело шара 2, то неизбежно быстрое выкрашивание зерна.

Рисунок 1
Схема обоснования шага между зернами

Рисунок 2
Схема определения соотношения масс зерен карбидов и связки

Поэтому для долговечной работы лезвия необходимо выполнение следующего условия:

$$t \cos \gamma \leq d, \quad (1)$$

где t – шаг между центрами зерен; γ – угол между образующей лезвия и линией, перпендикулярной к направлению движения; d – диаметр зерна.

Тогда расстояние между зернами должно составить

$$l \leq d \left(\frac{1}{\cos \gamma} - 1 \right). \quad (2)$$

Уменьшение зазора l приводит, с одной стороны, к большей долговечности зерен, но, с другой стороны, из-за затупления зерен в процессе

эксплуатации ухудшается их перерезающая способность. Поэтому после некоторого затупления зерен необходимо чтобы они обновлялись путем выкрашивания из связки. С учетом этого расстояние между зернами рекомендуется принимать:

$$t = \frac{d}{\cos \gamma}, \quad (3)$$

$$l = d \left(\frac{1}{\cos \gamma} - 1 \right). \quad (4)$$

Зная шаг t между зернами, определяем количество зерен N на участке площадью F . Принимая расположение зерен по схеме равностороннего треугольника, число зерен N на таком участке определяем, как

$$N = \frac{F}{0,866\alpha^2}. \quad (5)$$

Очевидно, что предпочтительно иметь на лезвии лапы один слой зерен. Если рассмотреть этот слой, то можно выразить общую толщину наплавленного слоя (рисунок 2), как

$$h = c_1 + d + c_2, \quad (6)$$

где c_1 – толщина связующего слоя от основного металла до зерен; c_2 – толщина связующего слоя от зерен до границы слоя.

Тогда в объеме: $V = hF$ будет находиться N зерен с общей массой

$$m_z = N \frac{\pi d^3}{6} \rho_z = \frac{\pi d^3 \rho_z F}{5,196\alpha^2} = \frac{d \rho_z F \cos^2 \gamma}{1,654}, \quad (7)$$

при этом масса связующего составит

$$m_n = \left(V - N \frac{\pi d^3}{6} \right) \rho_n = F \rho_n \left(h - \frac{d \cos^2 \gamma}{1,654} \right), \quad (8)$$

где ρ_z, ρ_n – плотность зерен карбидов и связки.

Тогда соотношение масс зерен карбидов к связке составит

$$\mu = \frac{\rho_z \cos^2 \gamma}{\rho_n \left(0,654 + 1,654 \frac{(c_1 + c_2)}{d} + \sin^2 \gamma \right)}. \quad (9)$$

Рисунок 3
Расчетная схема взаимодействия растения
с пилообразным лезвием культиваторной лапы

Рассмотрим возможность схода растительности с лезвия ножа (рисунок 3). В случае если растение не перерезается лезвием ножа, необходимо, чтобы оно не зависало на лапе, а передвигалось бы вдоль лезвия. Т. к. лезвие образовано рядом зерен диаметром d , то растение должно передвигаться по поверхности шара. При отрыве растения от шара 1 угол β будет минимальным для рассматриваемого в данный момент шара 2. При действии на растение силы давления P , направленной против движения лапы культиватора, со стороны шара 2 на растение будет действовать нормальная сила N и сила трения $F = Nf$, где f – коэффициент трения растения о материал шара. Движение растения по поверхности шара 2 будет возможным, когда $P \sin \beta \geq F$ или $P \sin \beta \geq fN$.

Переходя к углу трения φ , можем записать $\tan \varphi = f$, и, учитывая, что $N = P \cos \beta$, имеем $\beta \geq \varphi$. Это условие обеспечивает движение растения по поверхности шара. После отрыва растения от

шара 1 и в дальнейшем движении растения по поверхности шара 2 очевидно, что угол β будет увеличиваться и условие $\beta \geq \varphi$ будет выполняться. Из рисунка 3 следует:

$$\beta = \gamma - \frac{\alpha}{2}, \quad \sin \frac{\alpha}{2} = \frac{t}{D + d},$$

где α – угол между направлениями доударной и послеударной скоростями растения; D – диаметр растения.

Тогда $\beta = \gamma - \arcsin\left(\frac{t}{D + d}\right)$. С учетом $\beta \geq \varphi$ и уравнения (3) определяется искомый размер шара:

$$d \leq D \frac{\sin(\gamma - \varphi)}{\cos \gamma - \sin(\gamma - \varphi)}. \quad (10)$$

Зависимость предельного безразмерного симплекса d/D от угла трения φ для различных углов γ , используемых в современных культиваторных лапах, представлена на рисунке 4.

Рисунок 4

Изменение безразмерного симплекса d/D от угла трения ϕ для различных углов γ

Рисунок 5

Зависимость безразмерного симплекса $d_{\max}/D$ от α между доударной и послеударной скоростями для различных углов γ

Анализ данной зависимости показывает, что при возможных максимальных углах трения ϕ , равных 49° ($f = 1,15$) [1, 2], симплекс d/D должен находиться в пределах 0,05–0,13 для углов γ , равных 50 – 53° . В среднем можно принять $d/D = 0,09$ или при диаметре растения $D = 1$ мм, соответствующем выюнку полевому, средний диаметр зерна порошка должен составлять $d = 90$ мкм. Из условия (10) следует, что найденный размер d обеспечивает сход даже неподвижных растений. Если же растение обладает относительной скоростью, то его дальнейшее движение возможно при определенных условиях, когда угол α между доударной и послеударной скоростями для данного растения не будет превышать некоторого предельного значения. Считаем удар абсолютно неупругим, тогда послеударная скорость может быть определена по формуле

$$v_n = v_0 \cos \alpha - f_y v_0 \sin \alpha, \quad (11)$$

где v_0 – доударная скорость; f_y – коэффициент мгновенного трения.

Предельное значение угла $\alpha_{\max}$ соответствует послеударной скорости v_n , равной нулю, и определяется по формуле

$$\alpha_{\max} = \arctg \frac{1}{f_y}. \quad (12)$$

Т. к. $\sin \frac{\alpha_{\max}}{2} = \frac{t}{D + d_{\max}} = \frac{d_{\max}}{\cos \gamma (D + d_{\max})}$, безразмерный симплекс определяется, как

$$\frac{d_{\max}}{D} = \frac{\sin \frac{\alpha_{\max}}{2} \cos \gamma}{1 - \sin \frac{\alpha_{\max}}{2} \cos \gamma}. \quad (13)$$

Зависимость безразмерного симплекса $d_{\max}/D$ от угла α представлена на рисунке 5.

При $f_y = 2$ угол $\alpha_{\max} = 26,5^\circ$ и симплекс $d_{\max}/D = 0,16$ или при $D = 1$ мм максимальный размер зерен не должен превышать 160 мкм. При этом для надежного закрепления зерна в связке необходимо, чтобы $d_{\max} \leq h = c_1 + d + c_2$.

Минимальный размер зерна определяем из условия расположения в слое припоя толщиной h не более одного ряда зерен, т. е.

$$d_{\min} \geq \frac{h}{2}. \quad (14)$$

Результаты исследования показали, что при $d = 90$ мкм и $d_{\max} = h = 160$ мкм $d_{\min}$ равен 80 мкм. Если же принять $c_1 = c_2 = 0$, то $h = d = 90$ мкм, $d_{\max} = 90$ мкм и $d_{\min} = 45$ мкм. Статистическая обработка вариационного ряда размера

зерен экспериментального гранулированного порошкового состава позволила установить, что данный ряд имеет нормальный закон распределения с математическим ожиданием 82 мкм и средним квадратическим отклонением 20 мкм. Поэтому можно рекомендовать разделять на классификаторе имеющийся гранулированный порошок на две фракции и использовать одну фракцию с размерами до 90 мкм, а другую – более 90 мкм.

Для определения перерезающей способности зернистого лезвия исследована его толщина. Толщина вдоль лезвия лапы является переменной величиной и зависит от диаметра зерен, фрикционных свойств перерезаемого материала, а также угла скольжения τ (рисунок 6).

Рисунок 6
Схема внедрения ножа при относительном перемещении по лезвию

Для оценки толщины лезвия предложено использовать эквивалентную толщину $\delta_{\text{эвб}}$, которая представляет собой

$$\delta_{\text{эвб}} = \frac{d \sin^2 \varphi \cos \gamma [\pi - 2\vartheta - \sin(2\vartheta)]}{8 \sin(\psi - \gamma)}, \quad (15)$$

где $\vartheta = \arcsin \left[\frac{\cos \gamma - 2 \sin(\psi - \gamma)}{\sin \varphi \cos \gamma} \right]$; ψ – угол между относительной скоростью растения и линией, перпендикулярной к направлению движения лапы.

Причем $\sin \vartheta = \frac{\cos \gamma - 2 \sin(\psi - \gamma)}{\sin \varphi \cos \gamma}$, и $1 \geq \sin \vartheta \geq -1$.

Выводы. На рисунке 7 представлена зависимость безразмерного симплекса $\frac{\delta_{\text{эвб}}}{d}$ от угла ψ для различных углов γ и φ . Кривые с углом $\varphi = 90^\circ$ соответствуют принятой по Н.Е. Резнику оценке остроты лезвия, когда не учитываются фрикционные свойства перерезаемого материала, а в качестве толщины лезвия принимается

диаметр окружности, вписанной в контур его кромки [3]. Угол ψ может изменяться от значения 90° до угла γ , при этом угол скольжения ножа $\tau = \frac{\pi}{2} + \gamma - \psi$ меняется в пределах от γ до 90° , а коэффициент скольжения ножа $\varepsilon = \tan \tau$ возрастает до бесконечности. С увеличением угла τ , как известно, происходит кинематическая трансформация угла заточки и перенос части силы трения с нормального на тангенциальное направление. И то и другое способствует лучшей перерезающей способности ножа. Кроме этого, при скользящем резании ($\varepsilon > 2$; $\tau > 63^\circ$; $\psi < 77-80^\circ$) в снижении нормального усилия играет роль также кинематическая трансформация толщины лезвия и пилящее воздействие кромки. Анализ зависимостей, представленных на рисунке 7, свидетельствует, что с уменьшением угла ψ от 90° до $77-80^\circ$ происходит незначительное увеличение эквивалентной толщины ножа, а дальнейшее снижение этого угла приводит к ее резкому уменьшению и при углах $\psi = 55-60^\circ$ она практически равна нулю.

Рисунок 7
Изменение безразмерного симплекса $\delta_{\text{экв}} / d$ от угла ψ для различных углов γ и ϕ

Поэтому в случае, если растение не было перерезано лезвием на начальном этапе, то, скользя по лезвию ножа при имеющемся постоянном под-

поре со стороны почвы, оно будет обязательно перерезано, т. к. это приведет к увеличению угла τ и снижению эквивалентной толщины $\delta_{\text{экв}}$ [6, 7, 8].

Библиографический список

1. Бурмистрова, М.Ф. Физико-механические свойства сельскохозяйственных растений [Текст] / М.Ф. Бурмистрова. М.: Сельхозгиз, 1956. 344 с.
2. Справочник конструктора сельскохозяйственных машин [Текст] / Под ред. М.И. Клецкина. М.: Машиностроение, 1969. Том № 4. 536 с.
3. Резник, Н.Е. Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов [Текст] / Н.Е. Резник. М.: Машиностроение, 1975. 311 с.
4. Черновол, М.И. Технологические основы восстановления деталей сельскохозяйственной техники композиционными покрытиями [Текст]: дис. ... докт. техн. наук / М.И. Черновол. Кировоград, 1992. 436 с.
5. Черноиванов, А.И. Возможности газопламенного напыления для повышения износостойкости рабочих органов почвообрабатывающих и посевных машин [Текст] / А.И. Черноиванов, Э.С. Каракозов, Н.Р. Аракелов // Сварочное производство. 1988. № 5. С. 5–6.
6. Фархшатов, М.Н. Анализ перерезающей способности зернистого лезвия лап культиваторов [Текст] / М.Н. Фархшатов, А.Ф. Фаюршин, А.П. Павлов // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2008. № 10. С. 35–38.
7. Мударисов, С.Г. Оценка технологического процесса обработки почвы на основе уравнений динамики сплошных сред [Текст] / С.Г. Мударисов, З.С. Рахимов, М.М. Ямалетдинов, И.М. Фархутдинов // Достижения науки и техники АПК. 2010. № 1. С. 63–68.
8. Юнусбаев, Н.М. Особенности электроконтактной приварки порошковых материалов [Текст] / Н.М. Юнусбаев // Труды ГОСНИТИ. 2009. Т. 103. № 1. С. 149–150.

Сведения об авторах

1. **Фаюршин Азамат Фаритович**, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии металлов и ремонта машин, ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, 450001, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34, e-mail: azamatff@yandex.ru.
2. **Масягутов Риваз Фаизович**, аспирант кафедры технологии металлов и ремонта машин, ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, 450001, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34, e-mail: rivazm@yandex.ru.

В статье представлены результаты теоретических исследований образования и функционирования упрочненного лезвия лап культивато-

ров с определенным составом композиционной порошковой износостойкой смеси.

A. Fayurshin, R. Masjagutov

IMPROVEMENT TECHNOLOGY STRENGTHENING OF THE WORKING BODIES OF THE TILLAGE MACHINES

Key words: working bodies; abrasive wear; How to harden; cutting theory.

Authors' personal details

1. **Fajurshin Azamat**, Candidate of technical sciences, assistant professor of the Metal Technology and Machine Repair chair, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bashkir State Agrarian University», Ufa, 50-letiya Otyabrya St., 34, e-mail: azamatff@yandex.ru.

2. **Masjagutov Rivaz**, Post-graduate student of the Metal Technology and Machine Repair chair, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bashkir State Agrarian University», Ufa, 50-letiya Otyabrya St., 34, e-mail: rivazm@yandex.ru.

This article presents the results of theoretical studies of education and the functioning of the hard-

ened blades with a particular composition of cultivators paws composite powder wear-resistant mixture.

© Фаюршин А.Ф., Масагутов Р.Ф.

не и сформировать среду с заданными свойствами. Это дало возможность показать на рисунке 2.