

В.М. Павловец, А.В. Герасимук

Сибирский государственный индустриальный университет

РАСЧЕТ РЕЖИМА ПЕРЕКАТА ЗАРОДЫШЕЙ В ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ОКАТЫШЕЙ, ОСНОВАННОЙ НА ПРИНУДИТЕЛЬНОМ ЗАРОДЫШЕОБРАЗОВАНИИ

Получение сырых окатышей на тарельчатом окомкователе по технологии принудительного зародышеобразования включает две основные стадии: формирование зародышей по форме, близкой к кубу, и создание оболочки окатышей доокомкованием их в рабочей зоне окомкователя [1, 2]. Для доокомкования необходима организация режима переката, который для зародышей кубической формы должен быть реализован на окомкователе с определенными параметрами работы: углом наклона тарели к горизонту и ее частотой вращения. Стабильность режима переката обеспечивается отсутствием скольжения зародыша по шихтовому гарнисажу (ШГ) в процессе работы окомкователя. Поэтому наряду с указанными параметрами можно использовать дополнительный фактор, влияющий на стабильность режима переката и доокомкования зародышей, в качестве которого может быть принят коэффициент трения зародышей о шихтовый гарнисаж. На этот параметр можно воздействовать путем изменения влажности и плотности шихты гарнисажа окомкователя.

Целью настоящей работы является расчет режима переката зародышей в технологии производства окатышей, основанной на принудительном зародышеобразовании; анализ сил, действующих на кубический зародыш при его движении на гарнисаже, и определение параметров работы окомкователя.

В процессе вращения окомкователя зародыш удерживается на ШГ силами трения, и в отсутствии скольжения о шихтовый гарнисаж он может подняться на определенную высоту, задаваемую углом θ , находясь на некотором расстоянии от борта тарели.

На зародыш, находящийся в состоянии покоя, действуют силы, побуждающие его к движению (проекция силы тяжести на плоскость ШГ и центробежная сила), и сила, оказывающая сопротивление движению (сила трения). Разновидностью последней является сила трения покоя, которая действует от мо-

мента приложения сил, побуждающих к движению, до начала скольжения зародыша по ШГ. В процессе скольжения сила трения покоя переходит в силу трения скольжения. При граничном случае, когда скольжение зародыша по ШГ еще не началось и все силы скомпенсированы, их векторная сумма равна нулю.

При расположении зародыша у борта вращающейся тарели расстановка сил, действующих на зародыш, меняется, и его скольжение в направлении суммарной силы исключается из-за реакции борта. В связи с этим можно указать две схемы движения зародыша (рис. 1).

Первая схема движения характерна при нахождении зародыша в квадранте I при $\theta < 90^\circ$, когда единственной формой движения зародыша будет его перекат у борта тарели. При этом на него действует сила тяжести, которую целесообразно разложить на две составляющие: силу $F_{\tau y}$, действующую параллельно плоскости тарели, и силу $F_{\tau z}$, действующую перпендикулярно плоскости тарели. Центро-

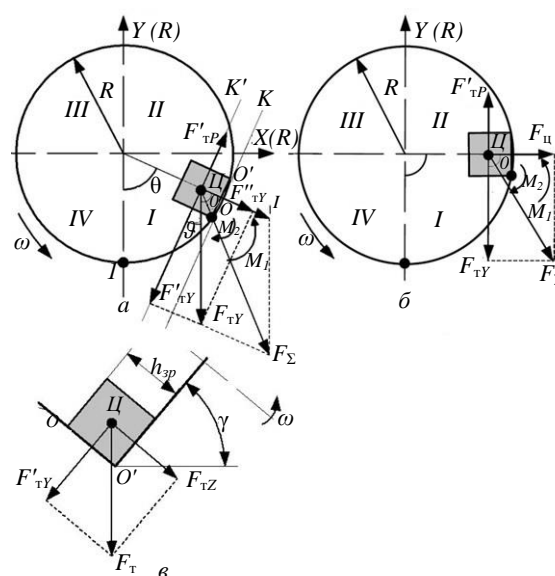


Рис. 1. Схема сил и моментов сил, действующих на зародыш, расположенный у борта тарели окомкователя в квадрантах I (а) и II (б), и при нахождении зародыша в точке I (в)

бежная сила $F_{ц}$ и сила трения покоя $F_{тр.п}$ зародыша действуют в направлении, противоположном силе F'_{mY} , поскольку в направлении этой силы, вероятно, будет происходить перекаат (рис. 1, а). Вторая схема движения характерна при нахождении зародыша в квадранте II при $\theta > 90^\circ$, при котором происходит его перекаат по ШГ тарели (рис. 1, б). Для первой схемы перекаат зародыша будет осуществляться по поверхности борта с одновременным скольжением по ШГ, когда угол φ , соответствующий наклону грани OO' к плоскости горизонта, превысит угол θ . При этом угле центр тяжести куба ($Ц$) переместится за границу опоры куба – грань, на которую он опирается на борту. При этом проекция точки $Ц$ центра масс зародыша на горизонтальную плоскость (точка $Ц'$) выйдет за опорную грань.

Если при соответствующих условиях зародыш достигнет второго квадранта тарели ($\theta > 90^\circ$) и будет двигаться по второй схеме, то условие устойчивости зародыша на ШГ выполняется при угле $\varphi < 45^\circ$ (рис. 2, а). Для этой схемы движения имеем $\varphi = \gamma$.

При углах наклона тарели окомкователя к горизонту более 45° условие устойчивости будет нарушено, и зародыш будет перекаатываться по ШГ. Это обусловлено тем, что при угле наклона более 45° центр ($Ц$) тяжести зародыша переместится за границу опоры зародыша – грань, на которую он опирается на ШГ. При этом проекция центра тяжести $Ц$ зародыша на горизонтальную плоскость (точка $Ц'$) (рис. 2, б) выйдет за опорную грань.

Для определения условий перекаата зародыша рассмотрим схему моментов сил, действующих на него. Для обеих схем движения способствовать перекаату зародыша будет проекция силы F_{TY} на прямую $K'-F'_{TY}$ (K' – линия, проведенная через центр тяжести $Ц$ и параллельная касательной K к борту тарели окомкователя), поскольку предполагаемое направление движения в начальной фазе будет вдоль борта тарели.

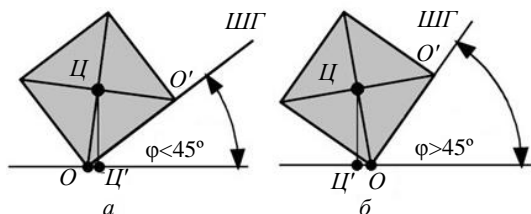


Рис. 2. Условие устойчивости зародыша на шихтовом гарнисаже:

а, б – положение центра тяжести зародыша при различном наклоне ШГ к горизонту

Проекция силы F_{TY} определяется по формуле

$$F'_{TY} = F_{TY} \cos \vartheta = mg \sin \gamma \sin \theta, \quad (1)$$

где ϑ – угол между силами F_{TY} и F'_{TY} .

Сила F'_{TY} создает вращающий момент относительно опорной грани:

$$M_1 = (mg \sin \gamma \sin \theta) h_{зп} / 2, \quad (2)$$

где $h_{зп}$ – высота зародыша, m – его масса.

Центробежная сила и сила трения создают моменты, противоположные по направлению моменту M_1 :

$$M_{F_{ц}} = m \omega^2 R h_{зп} / 2 = m (\pi n / 30)^2 R h_{зп} / 2; \quad (3)$$

$$M_{F_{тр.п}} = (\mu_{тр.п} mg \cos \gamma) h_{зп} / 2;$$

здесь ω – угловая скорость вращающейся тарели; n – частота вращения; $\mu_{тр.п}$ – коэффициент трения покоя.

Дополнительный момент, противоположный по направлению моменту M_1 , будет создавать проекция силы F_{TY} , направленная перпендикулярно борту:

$$F''_{TY} = (mg \sin \gamma) \cos \theta. \quad (4)$$

Ее момент вычисляется как

$$M_{F''_{TY}} = [(mg \sin \gamma) \cos \theta] h_{зп} / 2. \quad (5)$$

Сумма моментов сил определяется по выражению

$$M_2 = M_{F_{ц}} + M_{F_{тр.п}} + M_{F''_{TY}}. \quad (6)$$

Зародыш начнет перекаатываться, когда $M_1 > M_2$. Для определения угла θ , на который должна повернуться тарель, чтобы зародыш начал перекаатываться по борту, приравняем эти моменты и составим равенство с учетом формул (2) – (5):

$$(mg \sin \gamma \sin \theta) h_{зп} / 2 = m \omega^2 R h_{зп} / 2 + (\mu_{тр.п} mg \cos \gamma) h_{зп} / 2 + [(mg \sin \gamma) \cos \theta] h_{зп} / 2. \quad (7)$$

После преобразований получим

$$g \sin \gamma \sin \theta = \omega^2 R + \mu_{тр.п} g \cos \gamma + (g \sin \gamma) \cos \theta. \quad (8)$$

Решая уравнение (8) относительно угла θ , находим

$$\theta = \pi/2 - \arctg[\{-g\mu_{тр.п} \cos\gamma - \omega^2 R + (-g^2(\mu_{тр.п}^2 + 2) \cos\gamma - 2Rg\mu_{тр.п}\omega^2 \cos\gamma - \omega^4 R^2 + 2g^2)^{0.5}\}/\{2 \sin\gamma\}]. \quad (9)$$

Расчеты угла θ для тарели радиусом $R = 2,5$ м при заданных значениях коэффициента трения $\mu_{тр.п}$, угла наклона тарели γ и частоты вращения n представлены в таблице.

Полученные результаты позволяют констатировать, что с ростом коэффициента $\mu_{тр.п}$ угол θ увеличивается, и перекаат зародыша возможен в квадранте II. Если возможности воздействия на режим переката с помощью параметра $\mu_{тр.п}$ ограничены, то аналогичный эффект дает увеличение частоты вращения тарели, что хорошо согласуется с опытными данными. Если появилась производственная необходимость, то с увеличением угла γ наклона тарели к горизонту, напротив, можно снизить величину угла θ и организовать перекаат зародышей в первом квадранте тарели.

Выводы. Выполнен расчет режима переката зародышей в технологии производства окатышей, основанной на принудительном зароды-

шеообразовании; проведен анализ сил, действующих на кубический зародыш при его движении на гарнисаже, что позволило определить параметры работы и расширить технологические возможности тарельчатого окомкователя.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Павлов В.М. Исследование тепловых режимов напыления влажной шихты, предназначенных для принудительного зародышеобразования // Изв. вуз. Черная металлургия. 2009. № 6. С. 9 – 13.
2. Павлов В.М. Исследование процесса получения влажных окатышей с использованием принудительного зародышеобразования // Изв. вуз. Черная металлургия. 2010. № 6. С. 15 – 20.

© 2015 г. В.М. Павлов, А.В. Герасимук
Поступила 29 сентября 2015 г.

Результаты расчета угла θ

γ , градус	Значение угла θ , градус, при частоте вращения n , об/мин							
	3	4	5	6	7	8	9	10
$\mu_{тр.п} = 0,6$								
30	30	133	144	153	160	165	170	180
34	34	58	73	98	125	145	157	164
38	30	34	42	56	84	120	145	158
42	21	23	26	31	39	57	91	130
46	17	18	20	22	26	32	44	71
50	15	15	16	18	20	23	29	39
53	13	14	15	16	17	20	23	29
$\mu_{тр.п} = 0,8$								
30	180	180	180	180	180	180	180	180
34	169	171	180	180	180	180	180	180
38	154	159	162	166	169	180	180	180
42	110	124	137	148	156	162	167	172
46	47	56	71	94	121	141	153	161
50	28	30	35	43	57	83	116	141
53	21	23	25	29	36	47	68	104
$\mu_{тр.п} = 1,0$								
30	180	180	180	180	180	180	180	180
34	180	180	180	180	180	180	180	180
38	166	168	170	180	180	180	180	180
42	148	153	158	162	166	169	180	180
46	90	105	122	138	149	157	163	168
50	40	46	56	73	99	126	145	156
53	27	30	34	41	54	77	109	136