

УДК 621.86.061

Л.К. Похилько, доцент, канд. техн. наук

Национальная металлургическая академия Украины,

Пр. Гагарина, 4, г. Днепропетровск, Украина, 46005

E-mail: nmetaumechanic@yahoo.com

МЕХАНИКА ПРОЦЕССА ЗАХВАТА МЕТАЛЛА ФРИКЦИОННЫМИ ЗАХВАТНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ

Рассмотрены контактные явления при взаимодействии с металлом груза асимметрично нагруженного исполнительного органа с насечкой и гладкого цилиндра в условиях пластической и упругой деформации. Определен угол условной плоскости сдвига металла, проанализирована и экспериментально подтверждена его зависимость от угла наклона передней грани зуба насечки в металлах различной твердости.

Ключевые слова: *фрикционные захваты, пластическая и упругая деформации, стальные листы, трение.*

Введение. Грузоподъемность и надежность захватных устройств обуславливается величиной и направлением главных напряжений в зоне контакта исполнительных органов с металлом груза. Распределение последних зависит от величины упругих и пластических деформаций, от трения и адгезии металла груза к исполнительным органам в области контакта и других факторов.

Для практических расчетов из всего многообразия факторов, влияющих на распределение напряжений в деформированной зоне контакта, достаточно выявить основные. Роль каждого из них позволит оценить сущность явлений, сопутствующих фрикционному захвату груза.

Постановка задачи. В зависимости от веса и предела упругости металла груза, а также от конструктивных особенностей исполнительных органов захвата (кулачков, роликов, эксцентриков) и, в частности, от наличия или отсутствия на них насечки, может наблюдаться упругий или пластический контакт. При подъеме груза захватами с гладкой контактной поверхностью исполнительного органа и при высоких значениях пределов упругости металла груза, большее развитие получают упругие деформации; наличие же насечки на кулачках или эксцентриках и низкие значения предела упругости металла груза способствуют развитию пластического контакта.

В начальный период работы захватного устройства, который характеризуется предварительным прижатием исполнительных органов к грузу, возможны упругие деформации; в основной период работы, в зависимости от механических свойств металла груза и геометрических параметров исполнительных органов они могут перейти к пластическим или остаться упругими. Таким образом, контактные явления при работе захватного устройства можно представить как задачу упругопластической деформации ϵ_{yn} в виде суммы $\epsilon_{yn} = \epsilon_y + \epsilon_n$. В начальный и основной периоды при подъеме груза, вес которого недостаточен для внедрения исполнительных органов в металл, выполняется условие

$$\epsilon_y = \frac{\sigma_n}{E}. \quad (1)$$

В основной период, когда наблюдается остаточная деформация

$$\epsilon_n = \epsilon_{yn} - \frac{\sigma_n}{E}, \quad (2)$$

где σ_n – среднее нормальное напряжение в деформируемой области металла.

Принимая во внимание, что при подъеме груза касательные напряжения τ_s являются определяющими и, учитывая $\sigma_n = 2\tau_s$, условия (1) и (2) можно представить в виде:

$$\epsilon_y = \frac{2\tau_s}{E}, \quad \epsilon_n = \epsilon_{yn} - \frac{2\tau_s}{E}.$$

Известны параметры внедряющегося в металл жесткого тела, при которых плоскости сдвига расположены по наиболее благоприятным для пластического скольжения металла направлениям и наоборот, когда скольжение металла в пластической зоне затруднено. Наиболее изучены условия, облегчающие внедрение инструмента (резца) в металл, при которых процесс внедрения происходит с затратой минимальной энергии [1 – 5].

Задача сводится к нахождению таких геометрических форм исполнительных органов, при которых сдвиг металла в пластической зоне затруднен при внедрении в металл жесткого индектора (исполнительного органа захватного устройства).

Изложение основного материала исследования. Рассмотрено для сравнения взаимодействие с металлом груза асимметрично нагруженного жесткого клина (рисунок 1) (т.е. исполнительного органа, снабженного насечкой) и гладкого (без насечки) цилиндра (рисунок 2) в условиях пластического контакта.

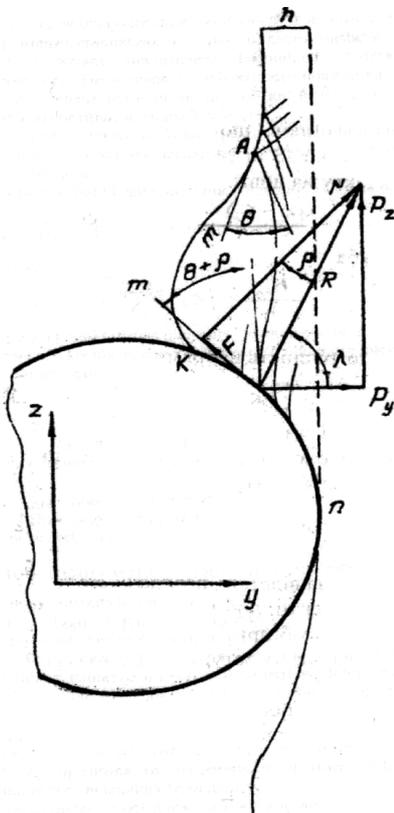


Рисунок 1 – Расположение линий скольжения при пластическом контакте гладкого исполнительного органа с металлом груза

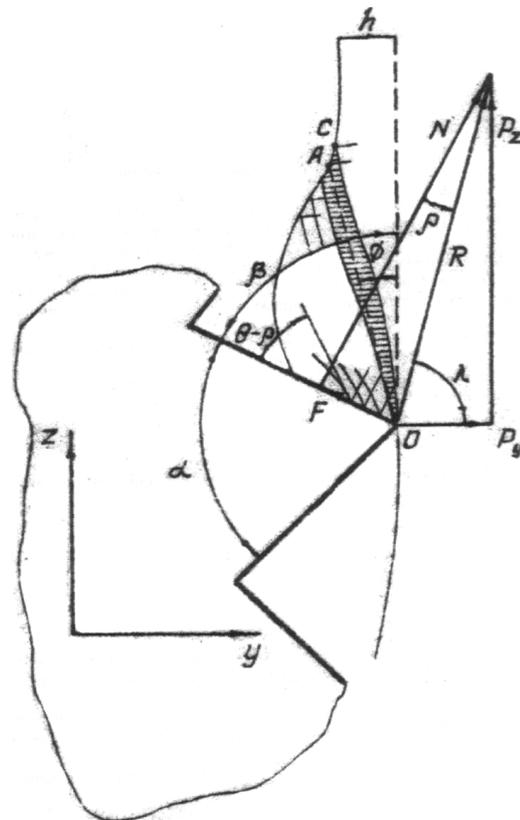


Рисунок 2 – Расположение линий скольжения при пластическом контакте насеченного исполнительного органа

Если контактная поверхность криволинейна (рисунок 2), то линии сдвига пластической зоны $O_1A_1; O_2A_2; \dots O_iA_i$ образуют с соответствующими касательными $m_1; m_2; \dots m_i$, проведенными через точки $A_1; A_2; \dots A_i$ и $O_1; O_2; \dots O_i$, одинаковые углы $Q = \pi/4$ [6]. В случае же прямолинейной контактной поверхности линии сдвига образуют с этой поверхностью углы $Q = \pi/4$. Объясняется это тем, что нормали к поверхности деформированной области совпадают с соответствующими главными напряжениями [3].

Граничные условия на поверхности металла, контактирующего с жестким клином (индексатором), при отсутствии трения не отличаются от граничных условий гладкого цилиндра, поэтому сила действия R направлена вдоль нормали N (рисунок 2).

При наличии трения возникает сила F , вызывающая поворот взаимно ортогональных линий скольжения и, соответственно с этим, поворот силы действия R на угол ρ . Семейство линий скольжения, по которым происходит пластический сдвиг металла, составит с контактной поверхностью индексатора угол $\theta + \rho$, а семейство линий скольжения, перпендикулярное первому и направленное в толщу металла, – угол $\theta - \rho$ [3, 7].

По предложению ряда авторов [3, 4] концентрация напряжений возможна в точке K (рисунок 2), однако при внедрении в металл груза, например, гладкого цилиндра-ролика, последний давит на слой металла толщиной h через площадку nk , а поэтому концентрация напряжений вдоль граничной линии (в точке K) не оказывает существенного значения на распределение максимальных касательных напряжений в зоне контакта.

Концентрация линий скольжения у вершины внедряемого в металл асимметрично нагруженного клина является определяющей зоной сдвига металла; в результате сгущения линий скольжения вблизи точки O (рисунок 1) образуется зона, характеризуемая максимальными касательными напряжениями. Считается, что пластический сдвиг металла происходит вблизи нижней границы пластической зоны представленной криволинейной поверхностью. Для упрощения анализа принимают, что сдвиг

происходит вдоль условной плоскости, расположенной под углом Φ к направлению действия силы P_z – силы веса груза.

Таким образом, при отсутствии концентрации напряжений на границе контакта, касательные напряжения направлены под углом $\theta + \rho$ к направлению действия силы P_z , а при ее наличии – вдоль зоны максимальных касательных напряжений, расположенных в условной плоскости, наклоненной к направлению действия силы P_z под углом Φ . Необходимо также отметить, что от направления действия внешних нагрузок, которые определяются геометрическими параметрами контактирующих тел и величиной силы трения между ними, зависит направление главных осей напряжений и направление максимальных касательных напряжений; последние определяют направление плоскостей сдвигов в пластической зоне, т.е. угол Φ .

При расчете грузозахватных устройств (определении сжимающих сил, предельных сил, вызывающих срыв груза) нужно знать коэффициент трения. Однако пользоваться табличными коэффициентами трения без учета параметров насечки на исполнительных органах можно только при отсутствии деформации металла груза. Как показали наши исследования [8] грузоподъемность таких захватных устройств равна лишь нескольким десяткам ньютонов. Т.е. расчет не соответствует реальным контактным явлениям, что приводит, с одной стороны, к необоснованному завышению сжимающей силы и увеличению габаритов захватного устройства, а с другой, к снижению надежности зажатия, т.к. при этом не учитываются механические свойства груза и конструктивные параметры исполнительных органов. В основу расчета фрикционных захватов большой грузоподъемности должно быть положено условие деформации в зоне контакта исполнительных органов с грузом с учетом параметров исполнительных органов.

Для определения коэффициента трения в условиях пластического сдвига необходимо знать угол условной плоскости сдвига металла Φ . Попытки определения этого угла по усадке валика металла перед зубом насечки, как это широко используется в практике обработки металлов резанием [2, 4, 9 и др.], не дали ожидаемых результатов, несмотря на явное наличие усадки (рисунок 3), скачкообразный с

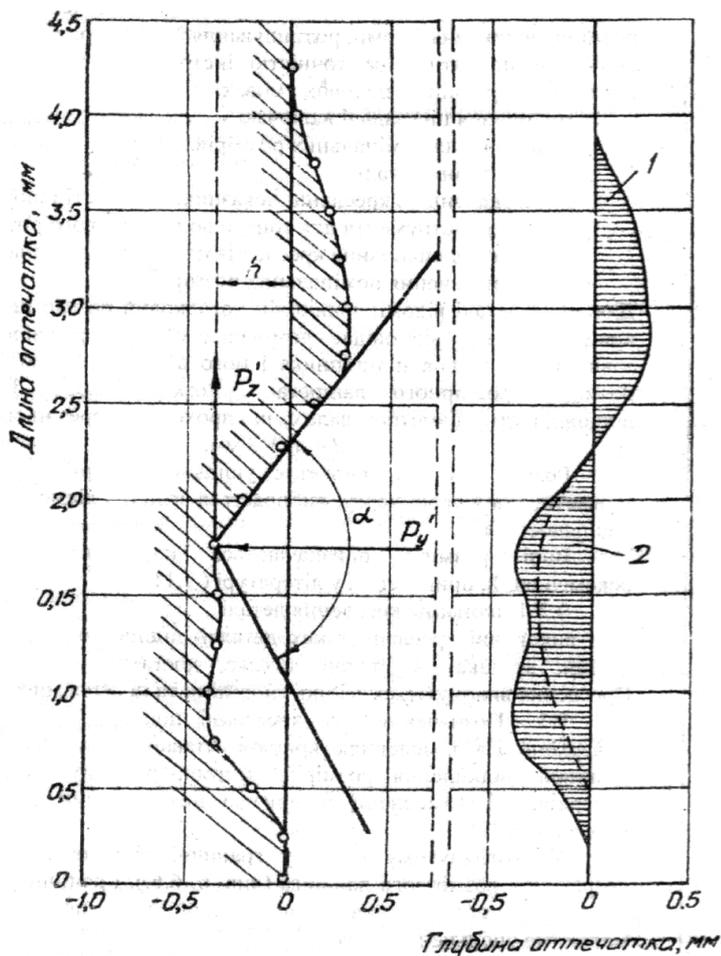


Рисунок 3 – Продольный профиль деформированной области в зоне контакта исполнительного органа кулачка с насечкой с грузом (сталь 45). Цифры у кривой: 1 – валик, 2 – отпечаток

неравномерной скоростью характер движения насеченного исполнительного органа по поверхности груза при срыве не позволил получить воспроизводимых результатов. Поэтому нами были обработаны экспериментальные данные по внедрению в металл клина,двигающегося со скоростью соответствующей исследуемой, у которого углы встречи β близки значениям углов встречи зубьев насечки с грузом, и на основании этого выведена статистическая зависимость изменения угла Φ от конструктивных параметров насечки (таблица 1).

Таблица 1

Угол встречи β , град.	Кол-во измерений	Источник	Математ. ожидание угла Φ , м	Дисперсия сил угла Φ , σ^2	Среднее квадратическое отклонение угла Φ , σ	Вероятност. отклонение x от m , E_x	Максимальное отклонение 3σ
70	52	[9]	19,40	6,73	2,59	1,75	7,80
80	83	[1, 2, 9]	21,40	5,76	2,40	1,62	7,20
90	98	[2, 9, 10]	22,80	5,13	2,26	1,52	6,80
100	32	[1, 2, 3]	23,00	4,97	2,23	1,50	6,70
110	36	[2, 9, 10]	25,10	4,43	2,10	1,42	6,30

С увеличением угла β с определенным коэффициентом пропорциональности увеличивается Φ . Зависимость $\Phi = f(\beta)$ описывается уравнением регрессии

$$\Phi = 0,17\beta + 0,04\pi.$$

Используя правило трех сигм, принимаем величину угла Φ с таким расчетом, чтобы максимально возможное его отклонение при любых значениях угла встречи β было направлено на уменьшение расчетной силы захвата. В этом случае наибольшая ошибка, равная 3σ , может быть направлена лишь в сторону повышения надежности зажатия груза. Максимально возможное снижение величины угла Φ в рассматриваемом интервале $\beta - 3\sigma \cong 0,04\pi$.

Таким образом, с учетом отклонения, вероятность которого меньше 0,003, значение угла условной плоскости сдвига, который используется для расчетного определения угла β , равно

$$\Phi = 0,17\beta + 0,08\pi. \quad (3)$$

Для определения угла трения ρ наиболее приемлема формула К.А. Зворыкина [1, 3, 11]

$$\Phi = 45^\circ + \frac{\beta}{2} - \frac{\rho}{2} - \frac{\Psi}{2},$$

где Ψ – угол внутреннего трения в плоскости сдвига, расположенный к направлению действия силы P_z под углом Φ ; величину Ψ без большой погрешности [5, 9] можно приравнять нулю. Тогда $\rho = \beta - 2\Phi$. Окончательно имеем:

$$\rho = 0,66\beta - 0,16\pi. \quad (4)$$

Это равенство справедливо для значений β от 35 до 110° и может быть использовано для практических расчетов грузозахватных устройств.

Анализ уравнения показывает, что при β менее 35° коэффициент трения принимает табличные значения, т.е. 0,10–0,15. Физический смысл этого может заключаться в том, что при малых углах встречи изменяется характер деформации, например, плоская пластическая деформация, положенная в основу определения наклона плоскости сдвига, переходит в объемную. Поэтому искажается и определение величины угла Φ , на основе которого рассчитывается угол трения ρ .

Необходимо отметить также, что как и при всяком формальном подходе, введение угла Φ , рассчитанного на основании статистической обработки данных, естественно искажает физический смысл уравнений захвата. Искусственное снижение угла трения за счет завышения Φ также может отразиться на физической стороне вопроса и поэтому при значениях β менее 20° угол трения принимает отрицательное значение. Кроме того, даже конструктивно невозможно получить насечку, обеспечивающую такой угол. Введение ограничений в уравнение (3) имеет целью повышение надежности расчета сжимающего усилия, что наиболее важно для практики.

На рисунке 4 показано сравнение теоретических (кривые 1 – 5) и расчетных (кривые 6) величин силы действия (P_z/P_y) исполнительных органов (эксцентрик радиусом 50 мм, толщиной 15 мм, высотами зубьев насечки: а) 1 мм; б) 2 мм; в) 4 мм, сжимающей силой $R_y = 5000$ Н) захвата на груз разной твердости в зависимости от изменения угла встречи β . Цифры у кривых – значения твердости металла груза: 1 – 25НВ; 2 – 78НВ; 3 – 189НВ; 4 – 237НВ; 5 – 325НВ.

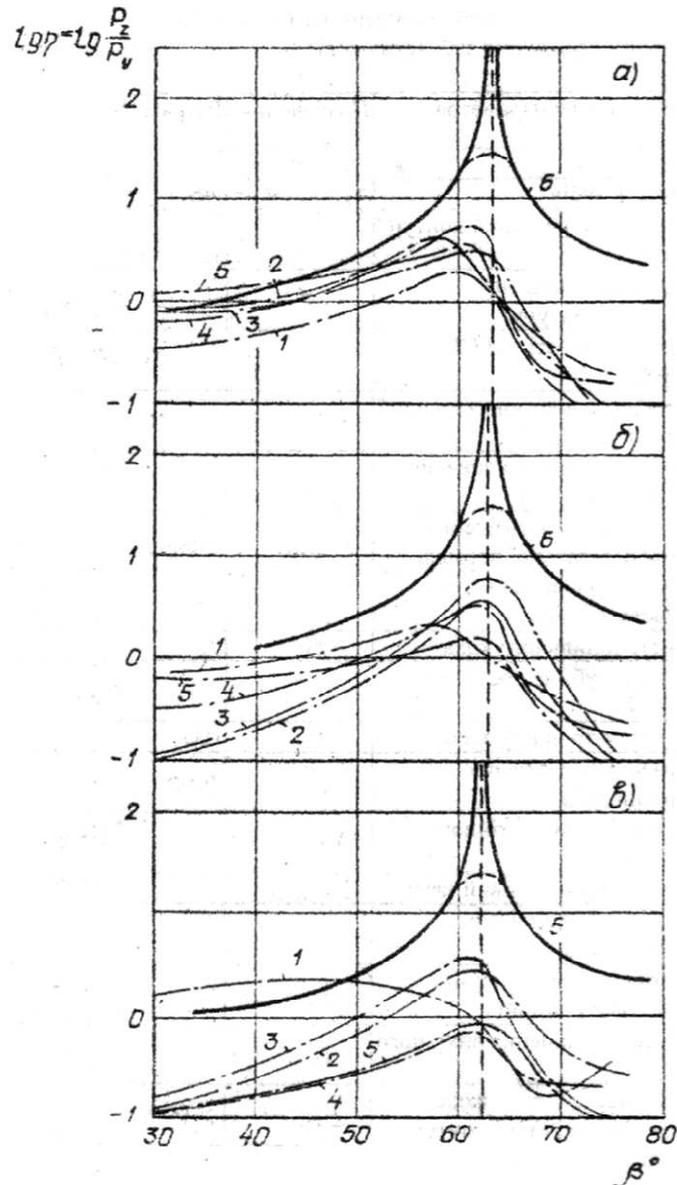


Рисунок 4 – Влияние угла встречи β на силовое взаимодействие $\frac{P_z}{P_y}$ исполнительного органа с грузом различной твердости

Из сопоставления приведенных данных можно заключить, что хорошее качественное совпадение расчетных и опытных данных указывает на соответствие коэффициента трения, рассчитанного по уравнению (4) действительным его величинам для исследуемых металлов груза.

Выводы. Анализ сил, в области контакта исполнительных органов фрикционных захватов с грузом, дает основание полагать, что использование табличных коэффициентов трения возможно только в случае гладкой контактной поверхности исполнительных органов.

В условиях пластического контакта сила захвата, в основном, определяется контактным профилем исполнительного органа, а при наличии на нем насечки – величиной угла встречи контактирующих с грузом зубьев.

Библиографический список использованной литературы

1. Грановский Г.И. Резание металлов / Г.И. Грановский, П.П. Грузов, В.А. Кривоухов. — М., Машгиз, 1954. — 472 с.
2. Розенберг А.М. Элементы теории процесса резания металлов / А.М. Розенберг, А.Н. Еремин. — М., Свердловск: Машгиз, 1976. — 318 с.
3. Зорев Н.Н. Вопросы механики процесса резания металлов / Н.Н. Зорев. — М.: Машгиз, 1956. — 367 с.

4. Развитие науки о резании металлов / Под ред. Н.Н. Звонарева, Г.И. Грановского и др. — М.: Машиностроение, 1967. — 415 с.
5. Еремин А.Н. Физическая сущность явлений при резании стали / А.Н. Еремин. — М.: Машгиз, 1951. — 226 с.
6. Ильющин А.А. Пластичность. Основы общей математической теории / А.А. Ильющин. — М.: Изд-во АН СССР, 1963. — 271 с.
7. Томпленов А.Д. Теория пластического деформирования металлов / А.Д. Томпленов. — М.: Металлургия, 1972. — 408 с.
8. Похилько Л.К. Исследование и разработка фрикционных захватов для стальных листов и металлоконструкций: дис.... канд. техн. наук: 05.05.04 / Л.К. Похилько. — Днепропетровск, 1979. — 175 с.
9. Лаладзе Т.Н. Стружкообразование при резании металлов / Т.Н. Лаладзе. — М.: Машгиз, 1953. — 200 с.
10. Полетика М.Ф. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента / М.Ф. Полетика. — М.: Машиностроение, 1969. — 150 с.
11. Похилько Л.К. Теоретическая зависимость угла трения от параметров исполнительных органов фрикционных захватов / Л.К. Похилько, И.Ю. Коваль // Теория и практика металлургии. — 2011. — № 5-6. — С. 75–77.

Поступила в редакцию 25.03.2014 г.

Похилько Л.К. Деякі елементи механіки процесу захвату метала фрикційними захватними механізмами

Розглянуті контактні явища взаємодії з металом груза асиметрично навантаженого виконавчого органу і гладкого циліндра в умовах пластичної і пружної деформації. Визначений кут умовної площини зсуву метала, проаналізована і експериментально підтверджена його залежність від кута нахилу передньої грані зубця насічки у металах, що мають різну твердість.

Ключеві слова: фрикційні захвати, пластична і пружна деформації, сталеві листи, тертя.

Pokhilko L.K. Several mechanical elements of process of metal capture by friction gripping devices

The contact phenomena of interaction between the asymmetrically-loaded notched function element and the streamlined cylinder in conditions in conditions of plastic deformation are studied in the given work. The angle of the imaginary shear plane of a metal is determined, and its dependence on the inclination angle of a front jag of the notch in the metals of different hardness is investigated and experimentally confirmed.

Keywords: frictional gripping devices, metal sheets, reversible deformation, friction, plastic deformation.