

клонение экспериментально полученного значения Δ_{\max} от расчетного объясняется инерционностью гидравлической системы для вибрационного точения. На схемах это подтверждается наличием участков, на которых происходит движение инструмента с подачей близкой к заданной подаче на оборот. Длина этих участков больше на схемах мягкого вибрационного. Следовательно, можно сделать предположение, что шероховатость обработанных поверхностей будет ниже после жесткого вибрационного точения с коэффициентом асимметрии 1/3.

Таблица 1 – Максимальное расстояние между траекториями движения инструмента на соседних витках Δ_{\max} .

Коэффициент асимметрии	Амплитуда, мм	Расстояние Δ_{\max} , мм	
		расчетное	экспериментальное
3	0,077	0,201	0,267
2	0,079	0,229	0,282
1	0,077	0,303	0,324
1/2	0,079	0,229	0,278
1/3	0,075	0,2	0,235

При проектировании устройств для точения с наложением асимметричных колебаний инструмента следует стремиться к тому, чтобы действительная траектория движения инструмента относительно заготовки была по возможности ближе к теоретической. Это приводит к уменьшению расстояния между соседними витками траектории движения инструмента относительно заготовки и, следовательно, к уменьшению шероховатости обработанных поверхностей.

УДК 621.762

Евтухов К.С.

АНАЛИЗ ЗАДАЧ ИДЕАЛЬНОЙ ПЛАСТИЧНОСТИ ДЛЯ СЛУЧАЯ ВДАВЛИВАНИЯ

БНТУ, г. Минск

Научный руководитель: Петюшик Е.Е.

Проведен анализ условий течения материала при вдавливании плоского пуансона в полупространство. Выделены некоторые

условия самоорганизации процесса, обеспечивающие повышение точности расчета.

Задача анализа процесса вдавливания давно находится в центре внимания специалистов, поскольку она является основой многих технологических процессов и используется в методах определения механических свойств деформируемых материалов и изделий. Первыми исследователями задачи проникновения штампа в среду были Г. Генки, Л. Прандтль, В.В. Соколовский, А.Ю. Ишлинский. В частности, последний впервые рассмотрел осесимметричную задачу пластичности под пробу Бринелля. Здесь искривления свободной поверхности не допускались и не учитывались. Не учитывались они и последующими исследователями [1]. Профиль лунки обрабатывался при подготовке образца. В основу положена гипотеза предельного состояния Хаара – Кармана. Классическое решение дало результат $\sigma_s/HB=0,352$ (1944), затем другие повторили результаты: Р. Шилд – $\sigma_s/HB=0,359$ (1955), Н.Г. Бураго (1984) – такой же, как у автора [1]. В настоящей работе также принималось соотношение $\sigma_{кпл} \approx HB \approx 3 \cdot \sigma_{Би}$, аналогичное указанным. Общее мнение всех исследователей сводилось к рекомендации решить задачу упруго – пластичности, при этом необходимо совместное рассмотрение поля напряжений и соответствующего поля деформаций.

Рекомендации первых исследователей о трудностях решения задач теории пластичности теперь могут быть разрешимы на основе метода вынужденной самоорганизации деформационного движения [2, 3], который позволяет расширить возможности идеальной теории до необходимого уровня, фактически перейдя к понятию многопараметрической теории, раскрывающей в полной мере те недостатки теории, которые следуют из понятия идеальности, материализованной через однопараметрическое решение.

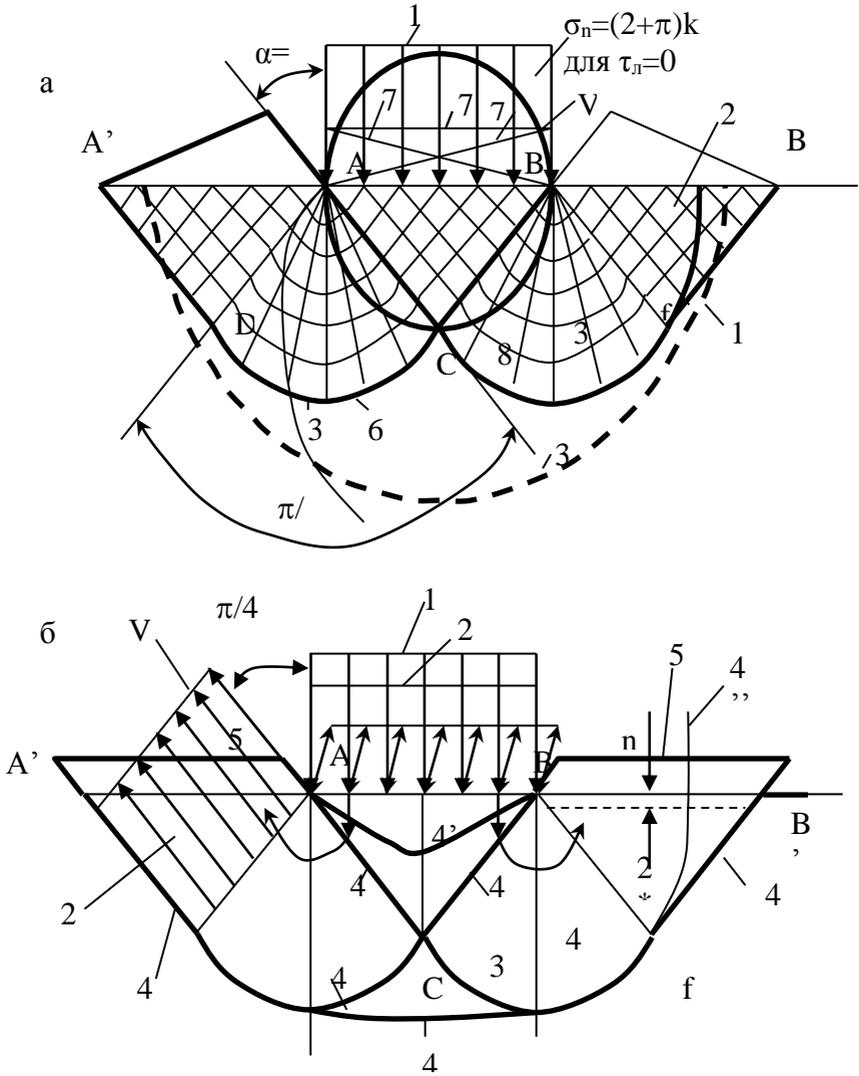


Рисунок 1 – Вид полей линий скольжения
 В плоских задачах решение значительно упрощается.
 Критерий $\sigma_s/HB=0,389$ остается в силе.

На рисунках 1, а и б, представлены классические схемы вдавливания плоского пуансона в полупространство для нулевого ($\tau_k=0$) и предельного трения ($\tau_k=k$). Здесь необходимо отметить несколько обстоятельств. Как и в других подобных случаях, сопоставляются поля линий скольжения для $\tau_k=0$ и «предельного» (предельного – в рамках математической теории пластичности) трения ($\tau_k=k$). В первом случае эпюра контактных нормальных напряжений σ_n постоянна, $\sigma_n=(2+\pi)k$. Ортогональность двух семейств линий скольжения, образуемых от особых точек А и В, позволяет выделить треугольную зону АВС, прилегающую к контактной поверхности, две, также треугольные, области АА'D и ВВ'F, прилегающие к свободной поверхности (задача Коши), и области разворота поля линий скольжения (ЛС), представленные веерами АСD и ВСF (задача Гурса). Угол поворота ЛС в этих ситуациях $\varphi=\pi/2$ согласно равновесию системы и дает значение $\sigma_n=(2+\pi)k$.

При $\tau_k=k$ (рисунок 1, б) нормальная нагрузка на контакт $\sigma_n=(2+\pi)k$ оказывается в области перегрузки и при дополнительной касательной поверхностной нагрузке в соответствии с законом пластического трения задача становится комбинированной, состоящей из двух задач. Нагрузка приложена в двух плоскостях. В силу этого несущая способность локального контакта падает и нормальное напряжение оказывается равным $\sigma_n=\pi k$ при дополнительной нагрузке $\tau_k=k$, направленной вдоль поверхности касания. Такова вынужденная самоорганизация влияния закона сухого трения твердых тел на основе теории вынужденной самоорганизации деформационного движения (ТВСДД). В этом случае можно глубже проанализировать начальную стадию затронутого явления. Дело в том, что при расчетах деталей машин мы пользуемся расчетами в предположении, что имеем дело с упругими

свойствами тел. Но на самом деле шероховатые контактные поверхности деформируются в пластическом состоянии. Поэтому в трибонике имеет место понятие «предварительное смещение», которое в начале движения протекает со своими особенностями. Теория самоорганизации объясняет существование этого явления разными углами рассогласования направлений сдвига в условиях упругого и пластического деформирования. Первое условие обеспечивает влияние этого параметра вдвое по сравнению со вторым при прочих равных условиях.

Некоторая разница возникает и в кинематике движения: при $\tau_k=0$ весь смещаемый материал в зоне ABC, деформируясь неодинаково вдоль ЛС обоих семейств, обеспечивает неравномерное смещение свободной поверхности (прямые 4) под углом $\alpha=\pi/4$.

При $\tau_k=k$ наличие трения как бы только констатируется (в плоскости чертежа его нельзя приложить). Особенности результата движения в этом случае приводят к тому, что блоки, прилегающие к свободной поверхности, смещаются в объеме без деформации (эпюра скоростей этого движения $V=const$ показана на линии скольжения AD), перемещение свободной поверхности демонстрируется прямыми 5, что подтверждает жесткость этих переходных областей. Разница в формоизменении свободной поверхности вызывается тем, что жесткое смещение зон AA'D и BB'F разбивает зону, прилегающую к контактной поверхности ABC, на два, в начале параллельных потока, что приводит и ее в жесткое состояние при тех же нормальных и сдвигающих напряжениях. В этом месте мы сталкиваемся с неадекватностью в формулировке условия задачи (в ней отсутствуют указания об отдельном приложении силы трения – здесь она не возникает сама по себе) и невозможностью нахождения четкого решения на физической основе. Условия в этой части задачи не корректны. Направление трения в схеме может возникнуть только нормально АВ, что соответствует локальному контакту в модели трения, но нормальное напряжение при этом

снижается до $\sigma_n = \pi k$ [1]. Опять возникают условия самоорганизации, которые снимут неопределенность, вызванную тем, что при формулировании задачи мы не определили направление действий контактных напряжений трения, а его в рассматриваемой задаче просто нет (оно не возникает, так как плоский пуансон вдавливаются по нормали к поверхности жестко – пластического тела, которое условно называется идеально пластическим, поскольку его упругое состояние остается вне обсуждения, а сопротивление деформированию служит константой деформирования).

Таким образом, оказывается, что поперечное трение в симметричном процессе вдавливания (плоская задача) не может возникнуть. Поэтому возникает тяготение к схеме $\tau_k = 0$, которая обеспечивает деформированное состояние в переходных областях и оказывается ближе к физике. Однако в этом случае возникает и другое кинематическое несоответствие, которое сводится к тому, что в решении $\tau_k = k$, в котором выдавливаемый материал истекает в виде двух жестких потоков при постоянной скорости движения переходных областей, примыкающих к свободной поверхности, образующих широкий резкий выступ, в экспериментах представляется более короткими криволинейными областями, форма которых зависит от вида обрабатываемого материала и скорости вдавливания.

Для выяснения этих недоразумений следует предположить, что построенные на рисунке 1, а, б поля линий скольжения не полностью отвечают еще не высказанному дополнительному условию формирования очага вдавливания. Дело в том, что в процессе вдавливания параллельно процессу раздвигания материала в стороны из-под пуансона имеет место образование поля истечения в сторону свободной поверхности, действующего при сжатии и изгибе. Процесс вдавливания оказался более сложным, он оказался комбинированным; схема процесса оказалась по сути другой, чем это предполагалось сначала.

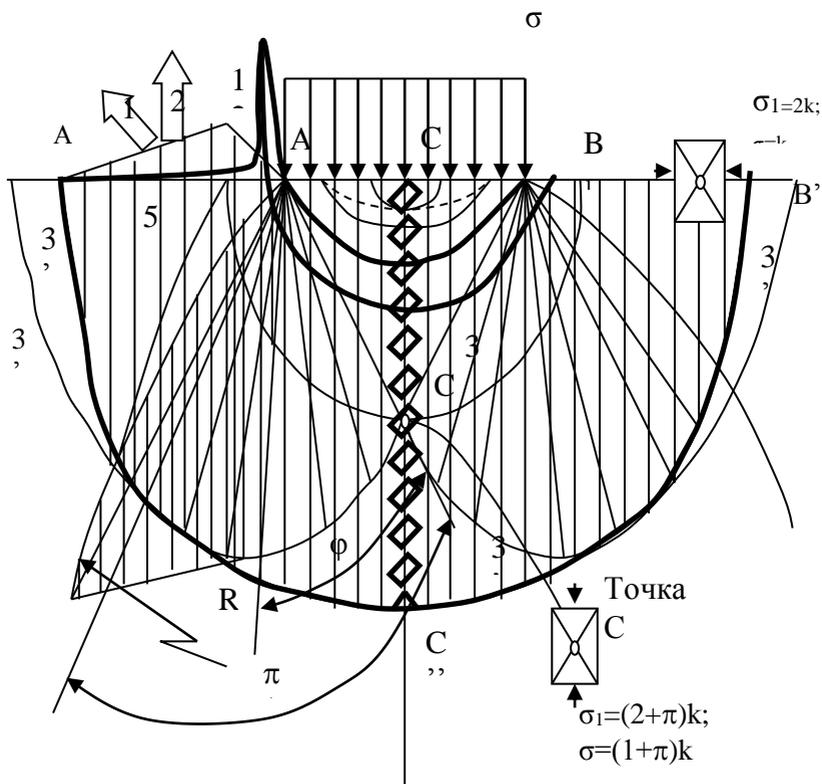


Рисунок 2 – Скорректированное поле линий скольжения при вдавлении

Схема образования поля линий скольжения при вдавлении, учитывающая вклад потокообразования, приведена на рисунке 2. Главным обстоятельством является выявление линии главного тока (стрежень). На рисунке это эллипс A_3CB_3 , большие полуоси которого определяются выходом максимумов развития выплеска через свободную поверхность. Полуокружность ACB остается траекторией максимальных сдвигающих напряжений не во всех случаях. Переходные области непосредственно под контактной поверхно-

стью сокращаются с одной стороны за счет вдавливания в упруго – пластической области (границы 4, 4' и 4'' в зависимости от достигнутого обжатия), а с другой стороны за счет более равномерной деформации (кривая 3). Кстати, характер кривой 3' соответствует границе области реального деформирования, продемонстрированной в работе Р. Хилла [4]. Такой вывод о наличии потокообразования, снимающего состояние жесткости с переходных областей, примыкающих к свободным поверхностям, подкрепляется тенденцией сокращения объема переходной области непосредственно под контактной поверхностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ишлинский, А.Ю. Прикладные задачи: в 2 т. / А.Ю. Ишлинский. – М., 1986. – Т. 1. – С. 17–42.

2. Макушок, Е.М. Совершенствование теорий деформирования с позиций синергетики и механики вынужденной самоорганизации деформационного движения / Е.М. Макушок, Е.Е. Петюшик // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: V междунар. научно-техн. конф. (Минск, 15-17 сентября 2010): сб. материалов: в 3 кн. – Кн. 3: Технологические процессы обработки материалов давлением. Безопасность и надежность магистральных трубопроводов и сосудов высокого давления. Пленарные доклады / редкол.: С.А. Астапчик (гл. ред.) [и др.]. – Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2010. – С. 45–49.

3. Макушок, Е.М. Обоснование основополагающих идей обобщенной теории вынужденной самоорганизации деформационного движения / Е.М. Макушок, Е.Е. Петюшик // Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка: Материалы IX междунар. научно-техн. конф. – Минск: НИИ ПМ НАН РБ, 29-30 сентября 2010. – С. 292–294.

4. Хилл, Р. Математическая теория пластичности / Р. Хилл. – М., 1956.