

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО



ПРАЦІ  
Таврійського державного  
агротехнологічного університету

Випуск 19. Том 4

Наукове фахове видання

Технічні науки

Мелітополь – 2019

**УДК 631.3  
Т 13**

Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ імені Дмитра Моторного, 2019. – Вип. 19, т. 4. –337 с.

Друкується за рішенням Вченої Ради ТДАТУ,  
Протокол № 4 від 26.11.2019 р.

У збірнику наукових праць опубліковано матеріали за результатами досліджень у галузі механізації сільського господарства та галузевого машинобудування.

Видання призначене для наукових працівників, викладачів, аспірантів, інженерно-технічного персоналу і студентів, які спеціалізуються у відповідних або суміжних галузях науки та напрямках виробництва.

**Реферативні бази:** Crossref, Google Scholar, eLibrary, AGRIS, «Україніка наукова», НБУ ім. В. І. Вернадського.

**Редакційна колегія:****Головний редактор**

Кюрчев В. М. - чл.-кор. НААН України, д.т.н., проф. (Україна)

**Заступник головного редактора**

Надикто В. Т. - чл.-кор. НААН України, д.т.н., проф. (Україна)

**Відповідальний секретар** Діордієв В. Т. - д.т.н., проф. (Україна)

Beloev Hristo - д.т.н., проф. (Болгарія)

Ivanovs Semjons - PhD (Latvia)

Jose Italo Cortez - PhD (Mexico)

Нукешев Саяхат - д.т.н., проф. (Казахстан)

Прищепов М.А. - д.т.н., доц. (Білорусь)

Постолатій В. М. - д.х.т.н. (Молдова).

Шингісов А. У. - д.т.н., проф. (Казахстан)

Гнатюшенко В. В. - д.т.н., проф. (Україна)

Дідур В. А. - д.т.н., проф. (Україна)

Леженкін О. М. - д.т.н., проф. (Україна)

Шоман О. В. - д.т.н., проф. (Україна)

Соболь О. М. - д.т.н. (м. Харків)

Сердюк М. Є. - д.т.н., доц. (Україна)

Євлаш В. В. - д.т.н., проф. (Україна)

Паламарчук І. П. - д.т.н., проф. (Україна)

Пилипенко Л. М. - д.т.н., проф. (Україна)

Дейниченко Г. В. - д.т.н., проф. (Україна)

Пріс О. П. - д.т.н., проф. (Україна)

Малкіна В. М. - д.т.н., проф. (Україна)

Погребняк А. В. - д.т.н., доц. (Україна)

Гумен О. М. - д.т.н., проф. (Україна)

Панченко А. І. - д.т.н., проф. (Україна)

Волошина А.А. – д.т.н., проф. (Україна)

Мілько Д. О. - д.т.н., в.о. проф. (Україна)

Тарасенко В. В. - д.т.н., проф. (Україна)

Караєв О. Г. - д.т.н., с.н.с. (Україна)

Назаренко І. П. - д.т.н., проф. (Україна)

Кузнецов М. П. - д.т.н., с.н.с. (Україна)

Лисенко В. П. - д.т.н., проф. (Україна)

Лисиченко М. Л. - д.т.н., проф. (Україна)

Скляр О. Г. - к.т.н., проф. (Україна)

Квітка С. О. - к.т.н., доц. (Україна)

Лендел Т. І. - к.т.н., (Україна)

Яковлев В. Ф. - к.т.н., проф. (Україна)

Кашкар'єв А. О. - к.т.н., доц. (Україна)

Сидоренко О. С. - к.т.н., доц. (Україна)

Лясковська С. Є. - к.т.н., доц. (Україна)

Холодняк Ю. В. - к.т.н. (Україна)

Гавриленко Є. А. - к.т.н., доц. (Україна)

Строкань О. В. - к.т.н., доц. (Україна)

Мацулевич О. Є. - к.т.н., доц. (Україна)

Самойчук К. О. - к.т.н., доц. (Україна)

**Відповідальний за випуск** - д.т.н., проф. Панченко А.І.

Адреса редакції: ТДАТУ

просп. Б. Хмельницького 18,

м. Мелітополь Запорізька обл.

72312 Україна

ISSN 2078-0877

© Таврійський державний  
агротехнологічний університет  
імені Дмитра Моторного, 2019

УДК 621.91

DOI: 10.31388/2078-0877-19-4-253-259

## АНАЛИЗ ПРОЦЕССА СТРУЖКООБРАЗОВАНИЯ

Колодий А. С., к.т.н., Парахин А.А., ас  
*Таврический государственный агротехнологический университет  
имени Дмитрия Моторного*  
Тел. (0619) 42-04-42.

**Аннотация** – В данной статье описывается необходимость создания теории машинной обработки, с помощью которой можно вычислять напряжение и температуры при обработке на основе главных свойств материала и условий резанию. Показывается, как могут быть определены важные вспомогательные величины, стойкость режущего инструмента и усилия резания в связи с геометрическими условиями и скоростями сдвига. Так же Приведена теория сдвига поверхности при стружкообразовании. Приведены исследование процессов обработки исследователей относительно простого способа прямоугольной обработки. Исходная точка данной статьи состоит в том, что бы поставить под вопрос модель сдвига поверхности и допущения, на которые она опирается, в надежде создать более реалистичную картину для анализа обрабатываемости. Для достижение этой цели разработаны методы создания основ пластического течения при образовании стружки, а также используются соответствующие аналитические методы для анализа напряжение наблюдаемого течения. Представленная модель поверхности стружкообразование позволяет для заданной толщины обработки снятием стружки  $t_1$  и угла схода стружки  $\gamma$ , знать или угол среза  $\theta$ , т.е. угол, образованный АВ и направлением скорости резания, или же толщину стружки  $t_2$ , после чего появляется возможность определить все величины. Кроме того, в этой статье показано, как соответствующим приближением можно перенести предложенную теории на обработку под углом, где режущая кромка наклонена к скорости резания. Этим возможно распространить теорию на множество практически применяемых способов обработки. Описана необходимость теории машинной обработки для оценки обрабатываемости материала, при выборе оптимальных условий резания, программирования станков с цифровым управлением и всех металлорежущих станков. Так же описана как решается данная проблема в настоящее время, аналитическим путем.

**Ключевые слова** – стружка, стружкообразование,

**металлорежущий станок, скорость резания.**

*Постановка проблемы.* Тенденция ко все более совершенным металлорежущим станкам и способам делает все более важным разработать правильную теорию обработки, которой можно было бы связать основные вспомогательные величины способа. В идеальном состоянии теория должна облегчить предсказание таких факторов как усилия резания (затрачиваемая мощность), стойкость режущего инструмента и качество поверхности, когда даются основные физические и механические качества детали и инструмента, а также рабочие условия (скорость резания, подача и форма инструмента). Подобная теория была бы крайне нужной при оценке обрабатываемости материала, при выборе оптимальных условий резания, программировании станков с цифровым управлением и всех металлорежущих станков. В настоящее время эти проблемы разрабатываются преимущественно эмпирическим путем, который включает прямое измерение таких интересующих нас параметров, как стойкость режущего инструмента на основе опытов. Измерения требуют очень много времени, а полученные результаты можно надежно переносить только на рабочие условия, подобные условиям опытов. Теоретический метод должен дать результаты, которые можно применить в более широкой области условий резания и которые достижимы с намного меньшими затратами труда и времени, поскольку они опираются на основные свойства.

*Анализ последних исследований.* При исследовании процессов обработки большинство исследователей учитывали относительно простой способ прямоугольной обработки, при котором верхний слой материала снимается инструментом с прямой режущей кромкой. При этом режущая кромка расположена перпендикулярно к направлению скорости резания и параллельно обрабатываемой поверхности. Кроме того, обычно ограничиваются обработкой с непрерывной стружкой» которая образуется без обрывов пластической деформацией. Нарост на режущей кромке не учитывается. Когда толщина стружки мала по отношению к ширине стружки, тогда процесс соответствует равномерному движению о плоской деформацией, что соответствует кругу проблем, которые можно лучше всего анализировать с помощью теории пластичности.

*Цель исследований.* Провести анализ процесса стружкообразования. Создание теории машинной обработки, с помощью которой можно вычислять напряжение и температуры при обработке на основе главных свойств материала и условия резания.

*Основная часть.* Теории способа резания металла, могут также охватить те условия, которые приводят к прерывистому

стружкообразованию и к образованию нароста на режущей кромке. До недавнего прошлого большинство исследователей на основе микрофотоснимков сечения стружки предполагали, что процесс образования стружки при прямоугольной обработке, где стружка образуется срезом вдоль так называемой плоскости среза. Этой моделью скорость работы мгновенно переставляется на скорость образования стружки, что требует прерывистости в тангенциальной скорости. Подобные прерывистости скорости часто применяются в исследованиях линии скольжения у способов обработки без снятия стружки и обработки резанием при плоских условиях удлинения, и важно определение, что хотя соблюдается непрерывность течения (стружки), они имеют силу только для идеальных жестких пластических материалов, которые деформируются при постоянном напряжении течения. Плоскость среза, рассматриваемая как прерывистость скорости (поле линии скольжения, дает направление максимальной величины сдвигового удлинения, в этом случае бесконечного, и максимального напряжения сдвига). Для прямой плоскости среза скорость во всех точках по её длине постоянна, при постоянной скорости стружки и вследствие этого скручивания стружки не происходит. Обычно скорость в практике не постоянна, а увеличивается в направлении режущей кромки, и стружка отходит от инструмента и скручивается.

Для заданной толщины обработки снятием стружки  $t_1$  (рис. 1) и угла схода стружки  $\gamma$ , надо знать или угол среза  $\theta$ , т.е. угол, образованный АВ и направлением скорости резания, или же толщину стружки  $t_2$ , и тогда мы будем иметь все величины, данные на рис.1.

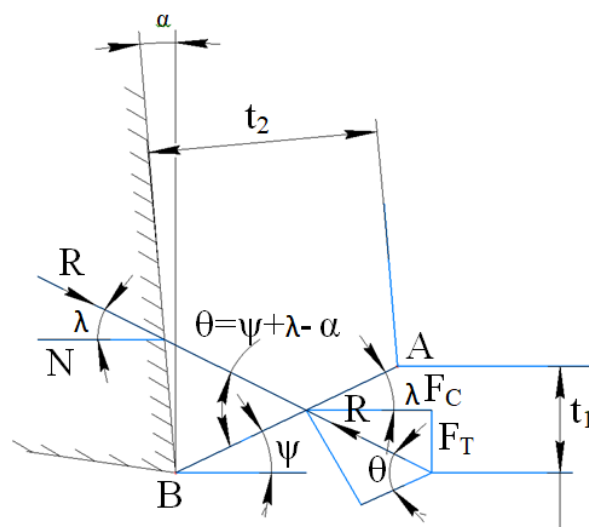


Рис.1. Модель поверхности стружкообразование

Часто делалась попытка дать теорию предсказания  $\theta$ . Одна из наиболее известных этих теорий возникла благодаря Merchant [1], который выразил силу действующую в направлении скорости резания в

величинах прочности материала на сдвиг, угла среза  $\theta$ , угла схода стружки  $\alpha$  и среднего угла трения  $\lambda$  на передней грани инструмента.

Он предположил, что величина  $\theta$  устанавливается такой, что совершенная этой силой работа дает минимум. Этим получается:

$$\theta = -\frac{\pi}{4} + \frac{\gamma}{2} - \frac{\lambda}{2} \quad (1)$$

Другое известное уравнение угла среза было составлено Lee и Schaffer, которые применили теорию линии скольжения поля для решения этой проблемы, из чего получается следующее отношение:

$$\theta = \frac{\pi}{4} + \gamma - \lambda \quad (2)$$

Значения величия полученные опытным путем в зависимости от  $\lambda$ , которые были определены на основе измерений соотношения толщины стружки  $\frac{t_1}{t_2}$  и отношения сил  $\frac{F_T}{F_C}$  с применением следующих уравнений  $\frac{t_1}{t_2} \cos \alpha$ :

$$\tan \theta = I - \frac{I}{t_2} \sin \alpha \quad (3)$$

При этом  $F_C$  - сила в направлении скорости резания (сила резания) и  $F_T$  - перпендикулярная составляющая (сила отжима). Без точной оценки  $\theta$  невозможно сделать пригодные предсказания в отношении силы резания, температур и многого другого, поэтому несостоятельность уравнений (1) и (2) побудила некоторых исследователей предложить для  $\theta$  другие уравнения. Они обычно имели измененную форму уравнений (1) и (2). Лучшее согласование между предсказанными и экспериментальными величинами для  $\theta$  было достигнуто тем, что в уравнение угла среза были введены понятия, которые показывают величины, выбранные как "подходящие", которые, однако, нельзя проверить независимыми измерениями.

Основная цель опытов этого вида состоит в том, чтобы получить наглядный пример пластического течения в типичной плоскости при фактических условиях резания (без замедления). Для решения этой проблемы применяли два основных метода.

При низкой скорости резания Oxley провел через микроскоп киносъемку со стороны среза, при этом наблюдаемая поверхность была отполирована и протравлена. При просмотре этих фильмов можно было проследить пути точно идентифицированных частиц и таким образом определить траектории. Преимущество этого метода в том, что можно наблюдать процесс в действии, недостаток, однако, в том, что течение наблюдается со стороны, и как раз здесь проявляются значительные отклонения от процесса плоской деформации. Следующий недостаток заключается в том, что при больших скоростях

резания время выдержки кинокамеры очень сокращается и возникают проблемы экспонирования.

Другая возможность решения этой проблемы, которая находит также широкое применение в исследовании формоизменения, состоит в том, чтобы разрезать деталь в плоскости, которая должна дать типичное поле траекторий и нанести на плоскости сечения сетку. Потом части зажимаются совместно и обрабатывается вся деталь. Как только достигнуты стабильные условия резания, процесс как можно быстрее прекращается, чтобы деформированная сетка затвердела и дала изображение условий. Таким образом возможно очень точно воспроизвести картину формоизменения в плоскости. Проблемы этого метода состоят в том, чтобы обеспечить эффективную остановку и применить сетку достаточно маленькую, чтобы её можно было нанести на размеры стружки. В последних опытах по обработке Hastings устранил недостатки быстрой остановки благодаря применению взрывного быстродействующего стопорного приспособления и маленьких печатных сеток квадратов со сторонами - 0,002. В этом смысле модель сдвига поверхности (рис. 1) - очень большое приближение к действительному процессу.

Деформированные сетки показывают кроме того, что происходит дополнительное течение в стружке вдоль передней грани инструмента. Это необходимо, так как обматывающаяся стружка несмотря на определенную длину соприкасается о переднюю грань инструмента.

#### *Выводы.*

Плохое согласование теории поверхности сдвига с экспериментальными результатами связано, в основном, с тем, что модель поверхности сдвига требует упрощения со связанным с этим предположением, что материал деформируется о постоянным напряжением течения.

#### Литература:

1. *M.E. Merchant.* Mechanics of Metal Cutting Process. J. Appl. Phys, 1945. – 267
2. *E.H. Lee.* The Theory of Plasticity Applied to a Problem of Machining, J. Appl. Mech. Trans. A.S.M.E. 1951. – 405
3. *Силин С.С.* Метод подобия при резании материалов. М.: Машиностроение. 1979. 152с.
4. *Грановский Г.И.* Резание металлов: учебю Мю: Вісню шк..., 1985. 304с.

## АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ СТРУЖКОУТВОРЕННЯ

О.С. Колодій, О.О. Парахін

*Анотація* – у даній статті описується необхідність створення теорії машинної обробки, за допомогою якої можна обчислювати напругу і температури при обробці на основі головних властивостей матеріалу і умов різання. Показується, як можуть бути визначені важливі допоміжні величини, стійкість різального інструмента і зусилля різання в зв'язку з геометричними умовами і швидкостями зсуву. Так само Наведено теорія зсуву поверхні при стружкоутворення. Наведено дослідження процесів обробки дослідників щодо простого способу прямокутної обробки. Вихідна точка даної статті полягає в тому, що б поставити під сумнів модель зсуву поверхні і допущення, на які вона спирається, в надії створити більш реалістичну картину для аналізу оброблюваності. Для досягнення цієї мети розроблені методи створення основ пластичної течії при утворенні стружки, а також використовуються відповідні аналітичні методи для аналізу напруга спостережуваного течії. Представлена модель поверхні стружкоутворення дозволяє для заданої товщини обробки зняттям стружки  $t_1$  і кут сходу стружки  $\gamma$ , знати або кут зрізу  $\theta$ , тобто кут, утворений АВ і напрямком швидкості різання, або ж товщину стружки  $t_2$ , після чого з'являється можливість визначити всі величини. Крім того, в цій статті показано, як відповідним наближенням можна перенести запропоновану теорії на обробку під кутом, де ріжуча кромка нахилена до швидкості різання. Цим можливо поширити теорію на безліч практично застосовуваних способів обробки. Описана необхідність теорії машинної обробки для оцінки оброблюваності матеріалу, при виборі оптимальних умов різання, програмування верстатів з цифровим керуванням і всіх металорізальних верстатів. Так само описана як вирішується дана проблема в даний час, аналітичним шляхом.

**Ключові слова** - стружка, стружкоутворення, металорізальний верстат, швидкість різання.



## CHAIN PROCESS ANALYSIS

O. Kolodii, O. Parahin

### *Summary*

**This article describes the need to create a theory of machine processing, with which you can calculate the stress and temperature during processing based on the main properties of the material and cutting conditions. It is shown how important auxiliary values, the resistance of the cutting tool and cutting forces can be determined in connection with geometric conditions and shear rates. The theory of surface shear during chip formation is also given. A study of the processing processes of researchers regarding a relatively simple method of rectangular processing is presented. The starting point of this article is to question the model of surface shear and the assumptions on which it is based, in the hope of creating a more realistic picture for the analysis of machinability. To achieve this goal, methods have been developed to create the basics of plastic flow during chip formation, and the corresponding analytical methods are used to analyze the stress of the observed flow. The presented model of chip formation surface allows for a given processing thickness by removing chip  $t_1$  and chip exit angle  $\gamma$ , to know either the cutting angle  $\theta$ , i.e. the angle formed by AB and the direction of the cutting speed, or the chip thickness  $t_2$ , after which it becomes possible to determine all values. In addition, this article shows how the corresponding theory can be used to transfer the proposed theory to machining at an angle where the cutting edge is inclined to the cutting speed. This makes it possible to extend the theory to many practically applicable processing methods. The necessity of the theory of machine processing to assess the machinability of the material is described, when choosing optimal cutting conditions, programming digitally controlled machines and all metal cutting machines. It also describes how this problem is being solved at the present time, analytically.**

**Key words - chips, chip formation, metal cutting machine, cutting speed.**