



УДК 621.91

DOI: 10.31388/2220-8674-2020-2-17

## ВЛИЯНИЕ СРЕДЫ, НАНЕСЕННОЙ НА ОБРАБАТЫВАЕМУЮ ПОВЕРХНОСТЬ, НА ПРОЦЕСС РЕЗАНИЯ

Колодій О. С., к.т.н.

ORCID: 0000-0003-2237-6730

Сушко О. В., к.т.н.

ORCID: 0000-0002-9840-3611

*Таврический государственный агротехнологический университет имени Дмитрия Моторного*

e-mail: oleksandr.kolodii@tsatu.edu.ua

*Постановка проблемы.* В практике металлообработки в настоящее время широко используют жидкие, газообразные и твердые смазочно-охлаждающие технологические средства. Применение таких средств является важным фактором расширения технологических возможностей процесса резания. Наибольшее распространение в качестве твердых материалов получили графит, дисульфид молибдена, окислы и соли металлов, а также твердые органические соединения и др. Можно привести много примеров того, как среда, нанесенная на поверхность, влияет на механические свойства обрабатываемого материала. Одним из таких примеров может служить результат экспериментального исследования влияния тетрахлорметана на механизм резания [1-3]. Учитывая неизбежные затраты, а также экологические аспекты, связанные с использованием жидких смазывающих технологических средств, применение сред, с помощью которых можно наиболее полно реализовать технологию минимальной смазки, является весьма актуальным и перспективным [4,5].

*Анализ последних исследований.* Ученые, такие как Чжоу Ян, занимающиеся данной проблематикой, исследовали такие среды как углеводороды, воски, парафин, свинец, графит и т. п. [6-8]. Так же Saynatjoki M., Koutio M. Drilling исследовали твердые смазки, наносимые на обрабатываемую поверхность, показали, что даже без подачи на переднюю грань резца жидкой смазки можно достигнуть такого же положительного эффекта увеличения коэффициента резания (угла сдвига), уменьшения сил резания и улучшения состояния обработанной поверхности, какой достигается в условиях резания с применением смазочно-охлаждающей жидкости [9-11]. Кроме того, такой же эффект, как при использовании твердой смазки, был получен при проведении экспериментального резания с образованием масляной пленки путем нанесения на обрабатываемую поверхность рапсового, парафинового и касторового масла [12-14]. Следовательно, влияние



среды на обрабатываемой поверхности может оказаться таким же сильным, как в случае резания с обычной подачей смазочно-охлаждающей жидкости на переднюю грань резца [15,16]. Поэтому в данном случае при исследовании различных факторов можно применять те же самые методы, какие используются в случае изучения резания с применением обычных методов подачи смазочно-охлаждающей жидкости.

*Цель работы.* Целью работы является исследование влияния на силы резания среды, нанесенной на обрабатываемую поверхность в виде слоя стеариновой кислоты, а также явлений, происходящих при этом в механизме резания.

*Основная часть.* Покрывающие пленки из жирных кислот, растительных жиров, минеральных масел, парафина и т. п. веществ, хотя и обладают некоторым отличием, в основном оказывают одинаковое действие на процесс резания. С учетом этого сходства для проведения данного эксперимента с различными передними углами резания была выбрана стеариновая кислота, дающая наиболее ощутимый эффект.

Испытания проводили по следующим условиям: способ резания – ортогональное резание со скоростью 1 м/мин за счет подачи стола вертикально-фрезерного станка; обрабатываемый материал – в основном медь; кроме того, мягкая сталь, алюминий и латунь в соотношении 4:6. На длине резания (250 мм) были расположены три последовательных зоны длиной по 80 мм: вспомогательный участок, участок с покрытием и очищенный участок (резание всухую). Толщина обрабатываемого листа составляла 3 мм.

Процесс исследовался при использовании режущего инструмента (материал – Т15К6); с различными значениями переднего угла:  $\alpha = 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ, 35^\circ$ ; задний угол  $\gamma = 6^\circ$ . Заточка инструмента производилась алмазным кругом. На длине резания 80 мм определяли коэффициент резания по результатам замера длины стружки.

На участке обрабатываемой поверхности, покрытом стеариновой кислотой, сопротивление резанию оказалось ниже, чем на очищенном участке при резании всухую. На рис. 1 показана зависимость между сопротивлением и глубиной резания при обработке меди резцами с различными значениями передних углов.

Поскольку снижение сопротивления резанию при наличии покрытия мало зависит от глубины резания, в этом случае можно предполагать значительное уменьшение вдавливающего усилия. Эта тенденция сохраняется при любых значениях переднего угла, хотя заметны некоторые различия, состоящие в том, что при меньших передних углах, как это видно из рисунка, сопротивление резанию уменьшается в большей степени.

Под влиянием слоя стеариновой кислоты коэффициент резания увеличивается. При резании очищенной поверхности коэффициент резания возрастает с увеличением глубины резания, постепенно приближаясь к характерной для данного переднего угла величине.

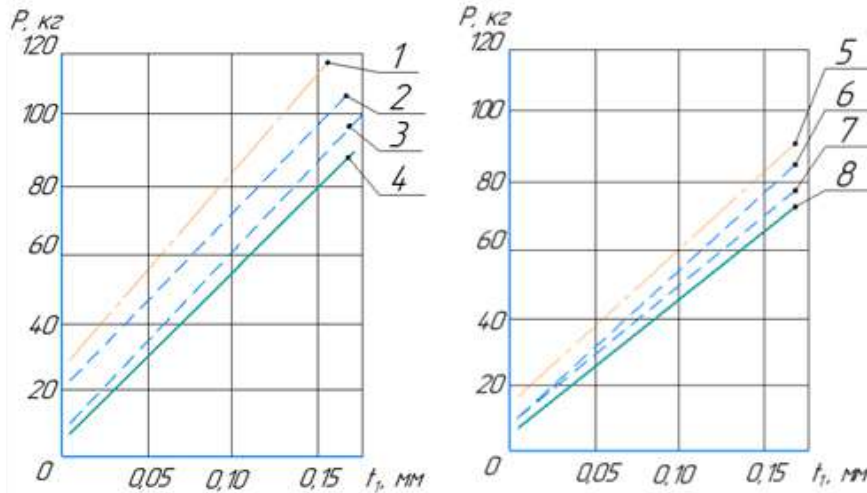


Рис. 1. Зависимость сопротивления резанию от глубины резания: 1, 2 – резание без покрытия при переднем угле 20 и 25°; 3, 4 – резание с покрытием при переднем угле 20 и 25°; 5, 6 – резание без покрытия при переднем угле 30 и 35°; 7, 8 – резание с покрытием при переднем угле 30 и 35°

При резании меди особенно хорошо проявился масштабный эффект влияния на величину угла сдвига. Можно предполагать действие какого-то механизма, препятствующего увеличению угла сдвига при деформации поверхностного слоя формирующейся стружки. Если это так, то влияние поверхностного слоя должно быть уменьшено с увеличением глубины резания при постепенном увеличении угла сдвига. Кроме того, изменения коэффициента резания при малых передних углах распространяются до больших значений глубины резания. Обычно, чем меньше передний угол, тем большую степень усадки имеет стружка. Поэтому можно предполагать, что при малых передних углах распространение изменений коэффициента резания до случаев резания с большой глубиной, а также усиление влияния поверхностного слоя на механизм резания обусловлено большими поверхностными деформациями.

С другой стороны, при нанесении на обрабатываемую поверхность слоя стеариновой кислоты, в отличие от случая резания очищенной поверхности (без покрытия), коэффициент резания приобретает большую величину при малых значениях глубины резания, т.е. в случае резания с покрытием масштабный эффект оказывает действие, противоположное случаю резания всухую. Нанесенный на обрабатываемую поверхность слой такого эффективного покрытия, как стеариновая кислота, не только

полностью аннулирует масштабный эффект, характерный для резания всухую, но за счет активного действия стеариновой кислоты придает медной поверхности эффект увеличения угла сдвига (по сравнению со случаем резания чистой медной поверхности).

При экспериментальном резании меди изменение сил сопротивления резанию и глубины резания условно оценивали по изменению усилия вдавливания. Для изучения причин изменения этого усилия вдавливания рассматривали характерную зависимость между углом сдвига  $\varphi$  и углом  $(\beta-\alpha)$ , между результирующей силой и направлением резания. Здесь  $\beta$  – угол трения на передней грани резца,  $\alpha$  – передний угол резца.

Фактически не существует точной плоскости сдвига, а имеется некоторая зона сдвига. С этой точки зрения при сильной усадке происходят сложные процессы искривления и разрушения поверхности стружки. Для упрощения анализа и выявления общих особенностей механизма резания была принята простая модель плоскости сдвига в непрерывной стружке (рис. 2).

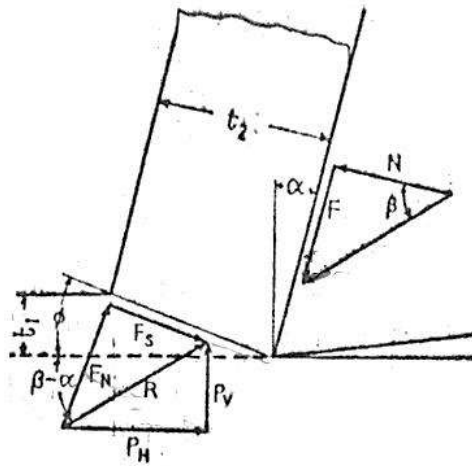


Рис. 2. Модель ортогонального резания

При глубине резания  $t_1$ , толщине стружки  $t_2$  длине резания  $l_1$  и длине стружки  $l_2$  коэффициент резания  $r_c$  равен:

$$r_c = \frac{t_1}{t_2} = \frac{l_2}{l_1} \quad (1)$$

На основании этого угол сдвига  $\varphi$  может быть выражен следующей зависимостью:

$$\varphi = \tan^{-1} \left( \frac{r_c \cdot \cos \alpha}{1 - r_c \cdot \sin \alpha} \right) \quad (2)$$

Кроме того, если главную составляющую силы резания обозначить через  $P_H$ , а составляющую силы реакции  $P_V$ , то получим выражение:



$$\beta - \alpha = \tan^{-1} \left( \frac{P_V}{P_H} \right) \quad (3)$$

С увеличением глубины резания  $t_1$  случаи резания всухую и с покрытием приближаются к одной прямой, которая почти соответствует формуле Мерчанта [2]:

$$\varphi + \frac{\beta}{2} - \frac{\alpha}{2} = \frac{C}{2} \quad (4)$$

Суть теории Мерчанта состоит в том, что, хотя существует некоторое расхождение между практическим и теоретическим смыслом константы  $C$  обрабатываемого материала, все равно за счет соответствующего подбора константы  $C$  для многих материалов можно приближенно применять приведенную выше формулу [8].

Наименьшее значение этой константы характерно для меди, затем для алюминия. Эффект действия покрытия, нанесенного на обрабатываемую поверхность, в большей степени проявляется при резании указанных материалов с низким значением константы  $C$ . Также можно выявить влияние толщины срезаемого слоя по изменению величины  $C$  при разной глубине резания  $t_1$ .

Как известно, за счет нанесения на обрабатываемую поверхность покрытия одновременно с увеличением угла сдвига происходит возрастание угла трения  $\beta$ . Причина увеличения угла еще недостаточно ясна. Однако, можно предполагать, что, поскольку сила трения на передней грани резца определяется сопротивлением сдвигу в материале стружки, а изменение коэффициента трения вызвано в основном уменьшением или увеличением нормальных напряжений, то и воздействие от поверхности стружки с нанесенным покрытием при уменьшенной площади сечения в плоскости сдвига и изменении напряженного состояния на передней грани резца вызывает некоторую стабилизацию напряжений трения и переход к состоянию резания со значительным уменьшением нормальных напряжений.

Величина увеличения угла сдвига под действием нанесенного покрытия почти не зависит от переднего угла резца, однако, величина уменьшения силы сопротивления резанию будет тем больше, чем меньше передний угол. Это происходит потому, что, как бы ни различались величины изменений угла  $\varphi$ , вызванное этими изменениями уменьшение площади сечения в плоскости сдвига остается большим. В конечном итоге, поскольку зависимость между площадью сечения в плоскости сдвига  $A_S$  и углом  $\varphi$  через ширину резания  $w$  выражается уравнением:

$$A_S = \frac{wt_1}{\sin \varphi}, \quad (5)$$

можно записать:

$$\frac{dA_S}{d\varphi} = \frac{wt_1 \cos \varphi}{\sin^2 \varphi} \quad (6)$$

Откуда видно, что при резании в условиях малых значений (например, резцом с небольшим значением  $\alpha$ ), даже небольшое изменение  $\varphi$  приведет к значительному изменению  $A_S$ .

Известно, что одним из факторов масштабного эффекта влияния на сопротивление резанию является уменьшение угла сдвига в зоне обработки с малой глубиной резания. Поэтому важно проверить, обусловлено ли показанное на рис. 1 уменьшение сопротивления резанию при нанесении покрытия стеариновой кислоты увеличением угла сдвига или уменьшением прочности обрабатываемого материала. Из рис. 2 видно, что усилие сдвига  $F_S$  в плоскости сдвига равно:

$$F_S = P_H \cos \varphi - P_V \sin \varphi \quad (7)$$

С другой стороны, площадь сечения в плоскости сдвига на основании формулы (5) может быть графически определена графиком, где по оси абсцисс отложены значения  $A_S$ , а по оси координат – значения  $F_S$  (рис. 3).

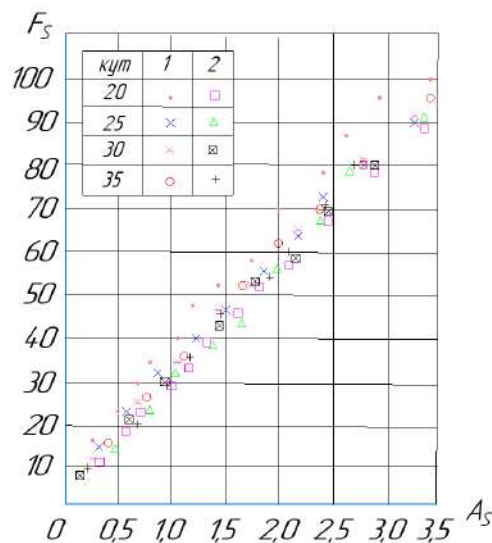


Рис. 3. Зависимость между усилием сдвига и площадью сечения в плоскости сдвига: 1 – очищенная поверхность; 2 – поверхность с покрытием

В этом случае наклон  $\delta F_S / \delta A_S$  выражает предел прочности сдвига материала в плоскости сдвига, откуда видно, что для установленного материала этот параметр остается стабильным в широком диапазоне режимов резания. На рис. 3 также точки располагаются почти по общей прямой линии без заметных изменений прочности от глубины резания, переднего угла или наличия покрытия на обрабатываемой поверхности. Если и происходит снижение сдвиговой прочности, то можно





предполагать, что это обусловлено только ограничением поверхностного слоя. Следовательно, основную роль в уменьшении сил сопротивления резанию играет фактор увеличения угла сдвига.

*Вывод.* Анализ результатов исследования влияния среды, нанесенной на обрабатываемую поверхность, на условия низкоскоростного ортогонального резания позволяет утверждать, что наличие среды, нанесенной в виде покрытия на обрабатываемую поверхность, приводит к увеличению угла сдвига и к снижению сил сопротивления резанию. Однако, с другой стороны, способствует увеличению коэффициента трения на передней грани резца. Это указывает на то, что среду, наносимую на поверхность, следует выбирать с учетом свойств обрабатываемого материала.

#### Список использованных источников

1. Skliar A. Research of the cereal materials micronizer for fodder components preparation in animal husbandry. *Modern Development Paths of Agricultural Production*. Springer Nature Switzerland AG. 2019. P. 249-258.
2. Zabolotko O.O. Performance indicators of farm equipment. *Proceedings of the IV International Scientific and Technical Conference "Kramar Readings" 2017*. P. 155-158
3. Sklar O. G. Fundamentals of designing livestock enterprises: a textbook. Condor Publishing House. 2018. 380 p.
4. Boltyanska N. Justification of Choice of Heating System for Pigsty. *TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering*. 2018. Vol. 18, No 1. P. 57–62.
5. Sklar O. Mechanization of technological processes in animal husbandry: a textbook. manual. Melitopol: Color Print. 2012. 720 p.
6. Резание и инструмент в технологических системах. Харків, 2015. Вып. 85. URL: [http:// library.kpi.kharkov.ua](http://library.kpi.kharkov.ua) > files > JUR > rez\_85\_2015/ (дата звернення: 10.10.2020).
7. Чжоу Ян. Оценка оптимальных условий лезвийной обработки углеграфитов с содержанием антрацита 70 %: магистерская диссертация / ТПУ. Томск, 2017. URI: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/41186> (дата звернення: 10.10.2020).
8. Yue Y. Cutting fluid mist formation via atomization mechanisms: Thesis (Ph.D.) / Michigan Technological University. *Dissertation Abstracts International*. 2000. Vol. 61-01. URI: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2000PhDT.....45Y/abstract> (дата звернення: 10.10.2020).



9. Saynatjoki M., Koutio M. Drilling test-a method for cutting. *Tribologia*. 2002. Vol. 11, № 2. P. 30-38.

10. Колодій О. С., Сушко О. В. Аналіз плоского пластичного плину матеріалу при оцінюванні оброблюваності на металорізальних станках. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2020. Вип. 10, т. 1. DOI: 10.31388/2220-8674-2020-1-17.

11. Автоматичне управління процесами обробки металів різанням: методичний посібник з виконання лабораторних робіт / О. С. Колодій, С. В. Кюрчев, О. В. Сушко, О. О. Ковальов. Мелітополь: Люкс, 2020. 136 с.

12. Направленное формирование свойств изделий машиностроения / А. С. Васильев и др.; под ред. А. И. Кондакова. Москва: Машиностроение, 2005. 352 с.

13. Сошко А. И., Сошко В. А. Смазочно-охлаждающие средства в механической обработке металла. Херсон: Олди-плюс, 2008. 618 с.

14. Sushko O. V., Kolodii O. S., Penyov O. V. Individual forecasting of technical condition of machines and development of method for determining the conditional function of distributing their residual resource. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine*. Kyiv, 2019. Vol. 10, № 4. P. 63-69.

15. Skliar O. Measures to improve energy efficiency of agricultural production. *Abstracts of XIII International Scientific and Practical Conference. Bordeaux «Social function of science, teaching and learning»*. Bordeaux, France 2020.

16. De Chiffe L., Wanheim T. Chip compression relationship in metal cutting. *NAMRC-IX, SME Proc.* 1981. P. 231-234.

## **ВПЛИВ СЕРЕДОВИЩА, НАНЕСЕНОГО НА ОБРОБЛЮВАЛЬНУ ПОВЕРХНЮ, НА ПРОЦЕС РІЗАННЯ**

**Колодій О.С., Сушко О.В.**

### *Анотація*

В роботі розглянуті питання, пов'язані з впливом на сили різання середовища, нанесеного на оброблювану поверхню у вигляді шару стеаринової кислоти, а також явищ, які при цьому відбуваються в механізмі різання. Тверді змазки, які наносяться на оброблювальну поверхню, показали, що навіть без подачі на передню грань різця рідкої змазки можна досягнути такого ж позитивного ефекту збільшення коефіцієнту різання (кута зсуву), зменшення сил різання та покращення стану обробленої поверхні, який досягається в умовах різання із застосуванням змащувально-охолоджуючої рідини. Тому при дослідженнях можливо застосовувати ті ж самі методи, які використовуються у випадку вивчення процесів різання із застосуванням звичайних методів подачі змащувально-охолоджуючої рідини.





Проведені експериментальні дослідження дозволили встановити, що наявність середовища, нанесеного у вигляді покриття на оброблювану поверхню, призводить до збільшення кута зсуву матеріалу та зниженню сил опору різанню. Однак, з іншого боку, сприяє збільшенню коефіцієнта тертя на передній грані різця. Це вказує не те, що середовище, яке наноситься на поверхню, слід вибирати з урахуванням властивостей оброблюваного матеріалу.

**Ключові слова:** режими різання, змащувально-охолоджувальні технологічні речовини, стеаринова кислота, кут зсуву, опір різанню.

## ВЛИЯНИЕ СРЕДЫ, НАНЕСЕННОЙ НА ОБРАБАТЫВАЕМУЮ ПОВЕРХНОСТЬ, НА ПРОЦЕСС РЕЗАНИЯ

Колодий А.С., Сушко О.В.

### Аннотация

В работе рассмотрены вопросы, связанные с влиянием на силы резания среды, нанесенной на обрабатываемую поверхность в виде слоя стеариновой кислоты, а также явлений, происходящих при этом в механизме резания. Твердые смазки, наносимые на обрабатываемую поверхность, показали, что даже без подачи на переднюю грань резца жидкой смазки можно достигнуть такого же положительного эффекта увеличения коэффициента резания (угла сдвига), уменьшения сил резания и улучшения состояния обработанной поверхности, какой достигается в условиях резания с применением смазочно-охлаждающей жидкости. Поэтому возможно применять те же самые методы, какие используются в случае изучения резания с применением обычных методов подачи смазочно-охлаждающей жидкости.

Проведенные экспериментальные исследования позволили установить, что наличие среды, нанесенной в виде покрытия на обрабатываемую поверхность, приводит к увеличению угла сдвига материала и к снижению сил сопротивления резанию. Однако, с другой стороны, способствует увеличению коэффициента трения на передней грани резца. Это указывает на то, что среду, наносимую на поверхность, следует выбирать с учетом свойств обрабатываемого материала.

**Ключевые слова:** режимы резания, смазочно-охлаждающие технологические средства, стеариновая кислота, угол сдвига, сопротивление резанию.

## INFLUENCE OF THE MEDIUM APPLIED TO THE WORKED SURFACE ON THE CUTTING PROCESS

Kolodii O., Sushko O.

### Summary

The article discusses the issues related to the influence on the cutting forces of the medium, which is applied to the treated surface in the form of a layer of stearic acid, as well as the phenomena occurring in this process in the cutting mechanism. Solid lubricants applied to the machined surface showed that even without supplying liquid lubricant to the cutting edge of the tool, they have the same positive effect of increasing the cutting ratio (shear angle), reducing cutting forces and improving the condition of the machined surface, which is achieved under cutting conditions using cutting fluid. Therefore, the same methods can be used to study the phenomena occurring in this case as in the case of a conventional supply of cutting fluid. Taking into account the inevitable costs, as well as the environmental aspects associated with the use of liquid lubricating



process agents, the use of such media that can be used for the most complete implementation of the minimum lubrication technology is very relevant and promising.

The process was investigated using a cutting tool made of T15K6 material with different values of the rake angle ( $\alpha = 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ, 35^\circ$ ) and the value of the clearance angle  $\gamma = 6^\circ$  on various materials: copper, mild steel, aluminum, brass. The cutting coefficient was determined from the results of measuring the chip length.

The dependence of the cutting resistance on the depth of cut for processing without coating and with coating has been established; thanks to the model of orthogonal cutting, the general features of the mechanism during cutting are revealed, and the influence of the thickness of the cut layer on the depth of cut is established

The carried out experimental studies made it possible to establish that the presence of a medium applied in the form of a coating on the surface to be treated leads to an increase in the shear angle of the material and to a decrease in the cutting resistance forces. However, on the other hand, this contributes to an increase in the coefficient of friction at the leading edge of the tool (cutter). This indicates that the medium to be applied to the surface should be selected taking into account the properties of the material to be treated.

**Key words:** cutting conditions, lubricating and cooling technological means, stearic acid, shear angle, cutting resistance.