



УДК 621.91

О. С. Колодий, к.т.н.

ORCID: 0000-0003-2237-6730

О. В. Сушко, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-9840-3611

Таврический государственный агротехнологический университет имени Дмитрия Моторного, г. Мелитополь, Украина
e-mail: aelxandr@rambler.ru

ИЗМЕНЕНИЕ РАБОТЫ РЕЗАНИЯ ПОД ВЛИЯНИЕМ НАНЕСЕННОГО НА ОБРАБАТЫВАЕМУЮ ПОВЕРХНОСТЬ ПОКРЫТИЯ

Аннотация. В работе рассматриваются вопросы, связанные с выбором состава и способа применения смазочно-охлаждающей технологической среды (в виде слоя стеариновой кислоты), нанесенной на обрабатываемую поверхность, и ее влияния на механизмы резания. Показано, что при резании металлов наблюдается сложное взаимодействие металлических поверхностей, которое является следствием сложных физико-химических процессов, протекающих на контактных и близлежащих к ним поверхностях инструмента, стружки и обрабатываемой детали, и зависит от большого числа факторов, совокупность которых предопределяет конкретный результат применения технологической среды в данных условиях.

Проведенные экспериментальные исследования позволили установить, что основными компонентами в работе резания являются работа деформации сдвига в плоскости сдвига, работа трения по передней грани резца и работа формирования слоя с измененной структурой при резании. Среди этих компонентов работа формирования слоя с измененной структурой является основной при резании с микроскопической глубиной.

Получены уравнения определения работы деформации сдвига в плоскости сдвига и работы трения по передней грани, выявлена их доля в изменении работы резания для случаев резания меди всухую и с покрытием на обрабатываемой поверхности. Установлен эффект действия покрытия на силу сопротивления резанию, который проявляется в уменьшении усилия вдавливания. Показано, что происходящее при этом уменьшение работы резания обусловлено в большей степени уменьшением работы деформации сдвига; в работе трения по передней грани резца происходит уменьшение



результатирующей силы сопротивления резанию вследствие сокращения поверхности сдвига. Сделан вывод, что основное уменьшение работы резания в случае нанесения на обрабатываемую поверхность соответствующего покрытия (слоя стеариновой кислоты) обеспечивается снижением работы деформации сдвига в результате увеличения угла сдвига, в то время как меньшая часть обеспечивается изменением работы трения по передней грани резца.

Ключевые слова: смазочно-охлаждающие технологические средства, режимы резания, работа трения, деформация сдвига, сопротивление резанию.

Постановка проблемы. Одним из эффективных методов повышения обрабатываемости материалов и качества получаемой поверхности является выбор состава и способ применения технологической среды (ТС) при резании. В практике металлообработки в настоящее время широко используют жидкие, газообразные и твердые смазочно-охлаждающие технологические средства. Применение при обработке резанием таких сред увеличивает стойкость режущего инструмента, снижает силы резания и шероховатость поверхности, повышает усталостную прочность изделия и другие его эксплуатационные характеристики. При резании металлов наблюдается весьма сложное взаимодействие металлических поверхностей, которое непрерывно возникает или обновляется в процессе резания под воздействием окружающей среды. Оно является следствием сложных физико-химических процессов, протекающих на контактных и близлежащих к ним поверхностях инструмента, стружки и обрабатываемой детали, и зависит от большого числа факторов, совокупность которых предопределяет конкретный результат применения технологической среды в данных условиях [1, 2].

Учитывая неизбежные затраты, а также экологические аспекты, связанные с использованием технологических средств, применение сред, с помощью которых можно наиболее полно реализовать технологию минимальной смазки, является весьма актуальным и перспективным.

Анализ последних исследований. В настоящее время мнение большинства исследователей склоняется к тому, что смазочное действие ТС является их основным и наиболее значимым действием во всем возможном диапазоне скоростей и температуры резания [3,4].

Ученые, занимающиеся данной проблематикой, исследовали такие среды как углеводороды, воски, парафин, свинец, графит и т. п. [5,6,7]. Исследования 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 [8,9,10]. Кроме того, такой же эффект был получен при проведении экспериментального резания с образованием масляной пленки путем нанесения на обрабатываемую поверхность рапсового, парафинового и касторового масла [9,10,11].

Работами академика П. А. Ребиндера и его школы установлено, что совместно с внешесмазочным действием адсорбционных пленок СОТС в определенных условиях могут оказывать «внутреннее смазочное действие». Поверхностно-активные вещества, входящие в состав смазочно-охлаждающих жидкостей, проникают в зону деформации по плоскостям скольжения в отдельных зернах обрабатываемого металла и тем самым облегчают процесс пластической деформации срезаемого слоя. Продукты распада адсорбированных поверхностно-активных веществ внедряются в кристаллическую решетку наиболее деформированных зерен металла, переводя его в более хрупкое состояние. Такое охрупчивание приводит к уменьшению величины предельной пластической деформации срезаемого слоя перед разрушением и уменьшению работы резания. В работах [7,13,14] показано, что влияние среды на обрабатываемой поверхности может оказаться таким же сильным, как в случае резания с обычной подачей ТС на переднюю грань резца. Авторами подчеркивается, что среду, наносимую на поверхность, следует выбирать только с учетом свойств обрабатываемого материала.

Формулировка цели работы. Целью работы является исследование работы резания под влиянием нанесенного на обрабатываемую поверхность покрытия и явлений, происходящих при этом в механизме резания.

Основная часть. Основными компонентами в работе резания являются работа деформации сдвига в плоскости сдвига, работа трения по передней грани резца и работа формирования слоя с измененной структурой при резании. Среди этих компонентов работа формирования слоя с измененной структурой является основной при резании с микроскопической глубиной. Можно считать, что в пределах данного эксперимента резание частично относится к категории случаев с микроскопической глубиной. Однако если считать, что основным фактором при изменении свойств поверхностного слоя обрабатываемого материала в работе резания является изменение угла сдвига, предварительно необходимо рассмотреть работу деформации сдвига в плоскости сдвига и работу трения по передней грани резца.

Под влиянием покрытия φ увеличивается, однако, поскольку в то же самое время происходит увеличение угла трения β по передней грани. Для случая резания с покрытием постараемся выявить, какая

доля в изменении работы резания приходится на плоскость сдвига, и какая – на плоскость передней грани резца.

Работа деформации сдвига E_s в плоскости сдвига, необходимая для резания на единице длины обрабатываемого материала, равна:

$$E_s = \tau_s \gamma_s w t, \quad (1)$$

где τ_s, γ_s – соответственно напряжения и деформации сдвига в плоскости сдвига;

w – толщина листа обрабатываемого материала.

Поскольку:

$$\gamma_s = F_s \frac{\cos \alpha}{\sin \varphi \cos(\varphi - \alpha)}, F_s = \frac{w t}{\sin \varphi} \tau_s, \quad (2)$$

получим:

$$E_s = F_s \frac{\cos \alpha}{\cos(\varphi - \alpha)}. \quad (3)$$

С другой стороны, работа трения E_f по передней грани при обозначении силы трения по передней грани через F и коэффициента резания через r_c равна:

$$E_f = F r_c. \quad (4)$$

Исходя из условия

$$F = F_s \frac{\sin \beta}{\cos(\varphi + \beta - \alpha)}, r_c = \frac{\sin \varphi}{\cos(\varphi - \alpha)}, \quad (5)$$

для E_f получим следующее выражение:

$$E_f = F_s \frac{\sin \beta \sin \varphi}{\cos(\varphi + \beta - \alpha) \cos(\varphi - \alpha)}. \quad (6)$$

На рис. 1 представлены графики, построенные расчетным путем по формулам (3) и (6) для случаев резания меди всухую и с покрытием на обрабатываемой поверхности.

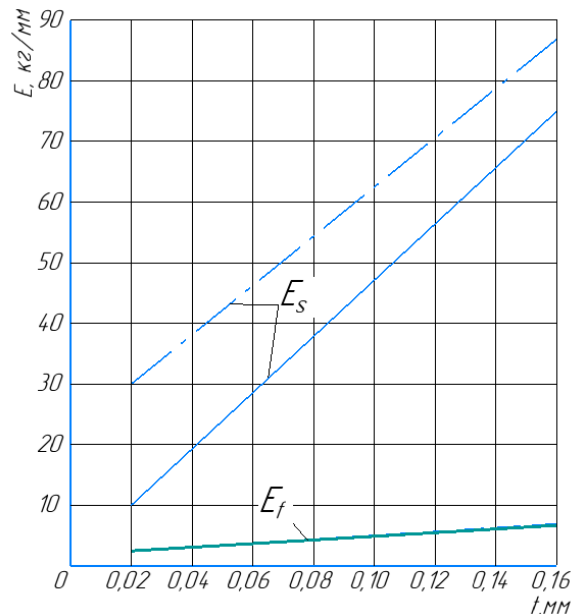


Рисунок 1. Резание меди всухую и с покрытием на обрабатываемой поверхности.



На рис. 1 сплошной линией обозначено резание с покрытием, прерывистой – резание всухую.

Как видно из рисунка, работа трения E_f по передней грани резца мало чем отличается в случае резания всухую и с нанесенным на поверхность покрытием, в то время как при резании с покрытием уменьшается только работа деформации сдвига E_s . Эффект действия покрытия на силу сопротивления резания проявляется в уменьшении усилия вдавливания, однако очевидно, что происходящее при этом уменьшение работы резания обусловлено, в основном, уменьшением работы деформации сдвига.

В работе трения по передней грани резца происходит уменьшение результирующей силы сопротивления резанию вследствие сокращения поверхности сдвига, однако этот эффект полностью перекрывается обратным действием увеличения скорости схода стружки и угла трения по передней грани.

Выводы. Анализ результатов исследования влияния среды, нанесенной на обрабатываемую поверхность, на условия низкоскоростного ортогонального резания позволяет сделать следующие выводы:

1. Наличие среды, нанесенной в виде покрытия на обрабатываемую поверхность, приводит к увеличению угла сдвига и к снижению сил сопротивления резанию, но, с другой стороны, способствует увеличению коэффициента трения на передней грани резца.

2. Среду, нанесенную на поверхность, следует выбирать с учетом свойств обрабатываемого материала. В частности, для меди подача смазочного масла на переднюю грань резца дает слабый эффект, в то время как смазка путем нанесения слоя на обрабатываемую поверхность оказывается весьма ощутимой. При резании алюминия одинаково ощутимы оба способа подачи смазки.

3. Основное уменьшение работы резания в случае нанесения на обрабатываемую поверхность соответствующего покрытия (слоя стеариновой кислоты) обеспечивается снижением работы деформации сдвига в плоскости сдвига.

Список использованных источников

1. Skliar O., Grigorenko S., Technical means for mechanization of technological processes on livestock farms // *Theory, practice and science*. Abstracts of V International Scientific and Practical Conference. Tokyo, Japan 2021. Pp. 255-257.

2. Zhuravel D., Skliar O. Modeling the reliability of units and units of irrigation systems. // *Multidisciplinary academic research*. Abstracts of I



International Scientific and Practical Conference. Amsterdam, Netherlands 2021. Pp. 83-86.

3. Резание и инструмент в технологических системах. Вып. 85. 2015. URL: http://library.kpi.kharkov.ua/files/JUR/rez_85_2015/ (дата звернення: 13.10.2021).

4. Чжоу Ян. Оценка оптимальных условий лезвийной обработки углеграфитов с содержанием антрацита 70%: магистерская диссертация. ТПУ, 2017. URI: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/41186> (дата звернення: 13.10.2021).

5. Yue Yan. Cutting fluid mist formation via atomization mechanisms. PhD. Michigan Technological University. Abstract. Jul 2000. ProQuest Dissertations and Theses; Thesis (Ph.D.). Michigan Technological University, 2000; Publication Number: AAI9959380

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

7. Колодій О. С. Аналіз плоского пластичного плинину матеріалу при оцінюванні оброблюваності на металорізальних станках. *Науковий вісник ТДАТУ*. Мелітополь, 2020. Вип. 10, т. 1. DOI: 10.31388/2220-8674-2020-1-17.

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

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

10. Сошко А. И., Сошко В. А. Смазочно-охлаждающие средства в механической обработке металла: в 2-х т. Херсон: Олди-плюс, 2008. Т. 1, 2. 618 с.

11. Сушко О. В., Пенёв О. В. Індивідуальне прогнозування технічного стану машин та розробка методу визначення умовної функції розподілу їх залишкового ресурсу. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. 2019. Vol. 10, № 4. P. 63-69. DOI: 10.31548/machenergy.2019.04.063-069.

12. Kiurchev, S. Luzan, P. Zasiadko, A., Radionov, H. Influence of the flow area of distribution systems on changing the operating parameters of planetary hydraulic motors. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021. 1021(1). P. 012037.

13. De Chiffre L., Wanheim T. Chip compression relationship in metal cutting. NAMRC-IX, SME Proc. 2011. 231 с.

14. Колодій А. С. Влияние среды, нанесенной на обрабатываемую поверхность, на процесс резания. *Науковий вісник ТДАТУ*. Мелітополь, 2020. Вип. 10, т. 2. DOI: 10.31388/2220-8674-2020-2-17.

Стаття надійшла до редакції 30.11.2021 р.



О. Kolodii, O. Sushko
Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

CHANGES IN THE CUTTING WORK UNDER THE INFLUENCE OF THE COATING ON THE SURFACE TO BE PROCESSED

Summary

The paper deals with the issues related to the choice of the composition and method of application of the lubricating-cooling technological medium (in the form of a layer of stearic acid) applied to the surface to be treated, and its influence on the cutting mechanisms. It is shown that when cutting metals, a complex interaction of metal surfaces is observed, which is a consequence of complex physicochemical processes occurring on the contact and nearby surfaces of the tool, chips and workpiece, and depends on a large number of factors, the combination of which predetermines the specific result of the application of technological environment in these conditions.

The experimental studies carried out made it possible to establish that the main components in the work of cutting are the work of shear deformation in the shear plane, the work of friction along the leading edge of the cutter and the work of forming a layer with a changed structure during cutting. Among these components, the work of forming the restructured layer is central to the cutting process to microscopic depths.

Equations for determining the work of shear deformation in the shear plane and the work of friction along the front face are obtained, their share in the change in the cutting work for cases of dry cutting and with a coating on the processed surface is revealed. The effect of the coating action on the cutting resistance force, which manifests itself in a decrease in the indentation force, is established. It is shown that the resulting decrease in the work of cutting is largely associated with a decrease in the work of shear deformation; when friction works on the leading edge of the cutter, the resulting cutting resistance force decreases due to a decrease in the shear surface. It is concluded that the main reduction in the work of cutting when applying a suitable coating (stearic acid layer) on the surface of the workpiece is provided by a decrease in the work of shear deformation as a result of an increase in the shear angle, and a smaller part is provided by changing the work of friction along the leading edge of the cutter.

Key words: lubricating and cooling technological means, cutting conditions, friction work, shear deformation, cutting resistance.

О. С. Колодій, О. В. Сушко
**Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра
Моторного**

ЗМІНА РОБОТИ РІЗАННЯ ПІД ВПЛИВОМ НАНЕСЕНОГО НА ОБРОБЛЮВАНУ ПОВЕРХНЮ ПОКРИТТЯ

Анотація

У роботі розглядаються питання, пов'язані з вибором складу і способу застосування мастильно-охолоджувального технологічного середовища (у вигляді шару стеаринової кислоти), нанесеної на оброблювану поверхню, та її впливу на механізми та режими різання. Показано, що при різанні металів спостерігається складна взаємодія металевих поверхонь, яка є наслідком складних фізико-хімічних процесів, що протікають на контактних і прилеглих до них поверхнях інструменту, стружки та оброблюваної деталі, і залежить від великої кількості факторів,



сукупність яких зумовлює конкретний результат застосування технологічного середовища в даних конкретних умовах.

Проведені експериментальні дослідження дозволили встановити, що основними компонентами в роботі різання є робота деформації зсуву в площині зсуву, робота тертя по передній грані різця та робота формування шару зі зміненою структурою при різанні. Серед цих компонентів робота формування шару зі зміненою структурою є основною при різанні з мікроскопічною глибиною.

Отримані рівняння визначення роботи деформації зсуву в площині зсуву та роботи тертя по передній грані, виявлені їх характер та частка в зміні роботи різання для випадків різання міді насухо та з покриттям на оброблюваній поверхні. Встановлено ефект дії покриття на силу опору різання, який проявляється в зменшенні зусилля вдавлювання. Авторами вказується, що при цьому відбувається зменшення роботи різання, яке обумовлено, більшою мірою, зменшенням роботи деформації зсуву. В роботі тертя по передній грані різця спостерігається зменшення результуючої сили опору різання внаслідок скорочення поверхні зсуву. Зроблено висновок, що основне зменшення роботи різання в разі нанесення на оброблювану поверхню відповідного покриття (шару стеаринової кислоти) забезпечується зниженням роботи деформації зсуву в результаті збільшення кута зсуву, в той час як менша частина забезпечується зміною роботи тертя по передній грані різця.

Ключові слова: змащувально-охолоджувальні технологічні засоби, режими різання, робота тертя, деформація зсуву, опір різанню.