

М. А. Болдаков¹, А. В. Карпов¹

¹ Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

КОНТАКТНЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ РЕЗАНИИ МЕТАЛЛОВ

Аннотация. Рассматриваются контактные процессы при резании металлов, которые являются наиболее сложными процессами обработки материалов. Выделяются и описываются характерные особенности явлений адгезии и диффузии, застойные явления и контактные (вторичные) деформации. Обосновываются нормальные и касательные напряжения и коэффициент трения при резании, а также факторы, влияющие на его величину. Дается обобщенная характеристика наростообразованию при резании и влияния нароста на процесс резания, а также зависимости наростообразования от различных факторов и выясняются методы управления наростообразованием. В заключении анализируется обрабатываемость конструкционных материалов резанием.

Ключевые слова: Металлы, процессы, наросты, конструкции, явления, поверхности, обработка, стружка, образование, деформации.

M.A. Boldakov¹, A. V. Karpov¹

¹ Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russian Federation

CONTACT PROCESSES FOR CUTTING METALS

Abstract. Contact processes in metal cutting, which is the most complex process of material processing, are considered. Characteristic features of adhesion and diffusion phenomena, stagnant phenomena and contact (secondary) deformations are identified and described. Normal and tangential stresses and coefficient of friction during cutting, as well as factors affecting its value are justified. A generalized characteristic of the formation during cutting and the effect of the formation on the cutting process is given, as well as the dependence of the formation on various factors, and the methods of the formation control are investigated. Finally, the workability of structural materials is analyzed by cutting.

Keywords: Metals, processes, growth, structures, phenomena, surfaces, processing, chips, formation, deformations.

Введение

В начале нашей работы кратко проанализируем вклад учёных в научные изыскания в рассматриваемом общем процессе. Впервые научные исследования процесса резания были проведены русским учёным И.А. Тиме, результаты которых он опубликовал в 1870 г. в монографии «Сопротивление металлов и дерева резанию». В дальнейшем многие отечественные и зарубежные учёные, такие как К.А. Зворыкин в 1893 г., А.А. Брикс в 1896 г., А.В. Гадолин в 1886-1890 гг. в своих работах основываясь на схеме И.А. Тиме, уточняли и внесли в неё значительные изменения. Вместе с тем в то время в науке было слабое развитие теории пластичности и физики твёрдого тела, а простая аппаратура для экспериментов не позволяла дать полное описание механики процесса резания. С наступлением бурного развития физико-химических наук началось и развитие физической теории резания материалов. В частности, Я.Г. Усачев установил размеры зоны деформированного материала, тем самым объяснил образование наростов на резце, а также разработал оригинальные конструкции термометра и динамометра. Так же значительный вклад в теорию резания внесли российские ученые такие как В.Д. Кузнецов, А.Г. Розенберг, С.Ф. Глебов, В.А. Кривовухов, Н.Н. Зорев, Г.И. Грановский и другие [1].

Приступая к рассмотрению основной задачи нашей работы стоит отметить, что главным элементом технологической системы является процесс резания. Резание – это сложный процесс обработки материалов [2, 3].

Физические и химические процессы на поверхностях тел при контактах весьма многообразные и сложные [2]. В этих условиях на передней поверхности инструмента образуются налипсы и наросты, которые изменяют характер стружкообразования, ухудшают качество обрабатываемой поверхности и разрушают режущую кромку. В области контакта возникают по-

верхностные явления: адгезия, коррозия, упрочнение и разупрочнение поверхностных слоёв, диффузия, эрозия, окисление, диспергирование и другие явления [4]. Это даёт основание говорить о высокой сложности процесса трения при срезании металла режущим инструментом.

Трение при обработке резанием имеет следующие особенности:

- 1) появляются различные виды трения (нечасто наблюдаются граничное и жидкостное);
- 2) немаловажную роль играет чистое трение, что приводит к усиленному разрушению режущего клина;
- 3) соприкосновение поверхностей заготовки и режущего инструмента совершается при сложном характере единожды;
- 4) трение происходит при значительном давлении, высокой температуре (температура плавления) и большой площади контакта;
- 5) сложнейшее распределение нормальных и касательных нагрузок по контактными поверхностям инструмента;
- 6) значительные переменные значения коэффициента трения, что объясняется усиленной адгезией и диффузией;
- 7) сложное взаимное влияние вибраций и вида трения;
- 8) жёсткий режим трения, приводящий к появлению наростов и интенсивному разрушению поверхностных слоёв режущего клина [1].

Рассмотрим эти явления более подробно.

Преобладающая роль в изнашивании режущего инструмента принадлежит процессам адгезии в силу того, что напряжения на участках контактного взаимодействия обычно превышают пределы прочности обрабатываемого, а также пределы текучести инструментальных материалов, при этом, стоит учитывать, что это происходит при высоких температурах и скорости деформации. Принято понимать, что адгезия – это синтез механизмов создания связей между слоями поверхностей разных твёрдых тел, приведённых в соприкосновение [5]. Исходя из физических понятий, адгезия обуславливается силами межмолекулярного взаимодействия, ионной, ковалентной, металлической и другими типами связей [6]. Как факт термодинамики, адгезия обосновывается наличием избыточной энергии в поверхностных слоях со стремлением к самопроизвольной её минимизации. Формирование контактных адгезионных связей двух твёрдыми телами снижает суммарную поверхность энергии, так же уменьшает энергию Гиббса и повышает энтропию системы контактного взаимодействия [6].

Как указывалось, выше адгезия – это термически активируемое явление с источником выделения тепла, результатом чего является пластическая деформация контактных слоёв и диссипация внутренней энергии. Образовываются адгезионные связи при сопутствующих структурных превращениях в очагах схватывания. К примеру, первичные очаги схватывания образуются в зонах, где присутствует высокая внутренняя энергия, эти очаги располагаются в местах скопления поверхностных дефектов кристаллического строения различных масштабных уровней.

Адгезия твёрдых тел возникает с образованием на контактирующих поверхностях микролокальных зон с неодинаковой электронной плотностью, между зонами возникают обменные электронные процессы и кулоновские силы, которые определяют прочность первичных адгезионных связей [6]. Поля упругих напряжений есть первопричина наведения и разделения локальных электростатических зарядов, следовательно, поверхностные дефекты кристаллического строения следует рассматривать как потенциальные очаги образования адгезионных связей. Возникшие первичные связи становятся каналами массопереноса, что приводит к образованию химических и иных соединений и как следствие повышается сила адгезии [7].

Динамика развития очагов адгезионного взаимодействия объясняет многие явления, сопутствующие резанию металлов [6]. Характер распределения наростов и налипов зависит от активного участия внешней среды и СОТС (смазочно-охлаждающие технологические средства) в трибологических процессах в зоне дискретного контакта [8-11].

Высокая температура и её градиент активируют диффузионные процессы между наростом и инструментальным материалом. Взаимная диффузия элементов инструментального и

обрабатываемого материалов через основание нароста увеличивает силу сцепления, однако в инструменте развивается подповерхностный слой, обеднённый легирующими элементами. В работе твёрдосплавного режущего инструмента диффузии в значительной степени подвержена кобальтовая связка, влекущая к ослаблению связи между карбидными зёрнами [12]. Разрыв некоторых адгезионных связей производится по данному слою, и оторвавшийся нарост уносит с собой часть инструментального материала или частицы износа [13].

При характеристике нароста следует указать, что это клинообразное тело из обрабатываемого материала, которое налипло на переднюю поверхность режущей кромки режущего инструмента с нормальной контактной нагрузкой у режущей кромки. Контактный слой стружки затормаживается, что приводит к налипанию слоистой структуры [14]. Нарост образуется из-за адгезии обрабатываемого материала с передней поверхностью инструмента и этому способствуют ювенильная прирезцовая поверхность стружки и довольно высокая температура в зоне контакта (от 200 до 500 °С), большая величина, следующий слой и т.д., оттого нарост имеет слоистую структуру. Нарост не имеет неизменной формы, его поверхность всегда неровная, она в зоне вершины инструмента копируется на обработанной поверхности заготовки, оставляя бороздки.

Величина образующегося нароста зависит от пластичности обрабатываемого металла и толщины срезаемого слоя. Если увеличивается нарост до критического значения, то он начинает разрушаться, что приводит к внедрению его фрагментов в прирезцовую поверхность стружки, а также и в поверхность среза, тем самым ухудшается качество обрабатываемой поверхности [15].

Если говорить о размерах нароста, то он зависит от обрабатываемого материала, переднего угла режущего инструмента и режимов резания. Величина нароста находится в прямой зависимости от стойкости инструмента и качества обработанной поверхности. Нарост служит защитой передней и задней поверхности инструмента от износа, однако из-за своей неустойчивости изменяет качество обработанной поверхности в худшую сторону, а также увеличивает шероховатость обработанной поверхности и приводит к снижению точности обработки.

Следует уточнить, что у весьма хрупких материалов нарост отсутствует и это объясняется почти полным отсутствием зоны первичных пластических деформаций на малых и средних скоростях резания.

Отдельные виды обработки производятся исключительно при наличии нароста, например, шабрение, при котором он позволяет снимать стружку при очень незначительных толщинах срезаемого слоя. Нарост упрощает врезание при значительном износе инструмента по задней поверхности, а также при наличии округления режущей кромки.

Явление наростообразования многое значит в практике обработки резанием. Из всего сказанного следует, что нарост:

- 1) всегда изменяет величину угла резания, тем самым, изменяются сопротивление резанию и условия трения;
- 2) ухудшает шероховатость поверхности обработки;
- 3) защищает от разрушения заднюю поверхность инструмента, изменяет размеры детали;
- 4) повторяющиеся срывы нароста являются причиной возникновения вибрации, тем самым ухудшается качество обработки;
- 5) не допускается при чистовой обработке;
- 6) образовывается при резании твёрдосплавным, быстрорежущим, минералокерамическим и алмазным инструментом разных материалов (большей величины наросты достигаются при резании пластичных металлов) [4].

Правильный выбор режимов резания, геометрии инструмента, применения смазочно-охлаждающих веществ и т.п. является залогом успеха в управлении процессом наростообразования.

Обрабатываемость материала резанием имеет отношение, как уже указывалось, к технологическим свойствам конструкционных материалов, также она характеризует уровень сложности их механической обработки режущими инструментами. Оценивают обрабатываемость

при помощи метода сравнения с обрабатываемостью стали 45 (значение принимается за единицу) [1]. Обрабатываемость конструкционных материалов обуславливается механическими свойствами, главным образом это прочность и твердость. Она ухудшается при увеличении в сплаве упрочняющих фаз, неметаллических включений, измельчением структуры, присутствием легирующих элементов и увеличением вязкости [16].

В противоположность этому на улучшение обрабатываемости материалов механической обработкой влияет предварительная термическая обработка заготовок. К этому относят применение инструмента из твердых сплавов и сверхтвердых материалов, а также подбор и использование смазочно-охлаждающих жидкостей, оптимизация режимов резания, легирование конструкционных сплавов [7, 17, 18].

Заключение

Подводя итоги, следует сказать, что результатом высоких скоростей деформации процесса резания является резкое изменение физико-механических свойств материала. Отсюда следует возрастание числа возможных плоскостей скольжения с изменением соотношения между пределом текучести и временным сопротивлением, и возрастанием химической активности материала и т.д.

Как отмечал в своё время профессор А.М. Розенберг «Процессы, происходящие в зоне контакта стружки с резцом, играют при резании решающую роль. Зона контакта является, по существу, тем каналом, через который действуют на процесс стружкообразования такие важнейшие факторы, как температура резания, свойства материала режущего инструмента, свойства среды и др. Условия в зоне контакта определяют характер и интенсивность износа инструмента» [19].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Новиков В.В. Анализ контактных явлений при лезвийном резании металлов и смазочное действие СОТС // *Металлообработка*, 2015. – №1 (85). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-kontaktnyh-yavleniy-pri-lezviynom-rezanii-metallov-i-smazochnoe-deystvie-sots> (дата обращения: 30.04.2020).(7)
2. Филиппенко Н.Г., Буторин Д.В., Каргапольцев С.К., Лившиц А.В. Физико-технические процессы в технологических операциях термической, механической, высокочастотной и ультразвуковой обработки полимерных и композитных конструкционных материалов. – Иркутск: ИрГУПС, 2017. – 256 с.
3. Шаров А.А. Резание материалов [Электр. ресурс] : Конспект лекций / А.А. Шаров : Минобрнауки России, СГАУ. – Самара, 2014. – 157 с. (11)
4. Физические явления, возникающие при резании. URL: http://www.texnologia.ru/documentation/cutting_of_metals/2.html (дата обращения: 30.04.2020). (10)
5. Butorin D.V., Bychkovsky V.S., Filippenko N.G., Livshits A.V., Kargapoltsev S.K. Investigations of mechanical, physical and technical processes in oil-filling of products made of polymeric and composite materials // VI International Symposium on Innovation and Sustainability of Modern Railway conference proceedings. 2018. С. 447-451.
6. Ким В.А. Адгезионные процессы контактного взаимодействия при резании материалов / В.А. Ким, Б.Я. Мокрицкий, Е.В. Самар, Ч.Ф. Якубов // *Ученые записки КНАГТУ*, 2018. – № I-1(33). – С. 66-75. (3)
7. Ермаков Ю.М. Комплексные способы эффективной обработки резанием: Библиотека технолога / Ю.М. Ермаков. – М. : Машиностроение, 2005. – 272 с.: Текст : электронный. – URL: <http://booksshare.net/books/machine/ermalovum/2005/files/kompleksniesposob2005.djvu> (2)
8. Якубов Ч.Ф. Упрочняющее действие СОТС при обработке металлов резанием / Ч.Ф. Якубов. – Симферополь: ОАО «Симферопольская городская типография», 2008. – 156 с. (12)
9. Александров А.А. Прогнозирование остаточных напряжений возникающих при термообработке алюминиевых сплавов / Александров А.А. // *Инженерный вестник Дона*. – 2015 – № 4 (38). – 128 с. (13)

10. Александров А.А. Расчет термических остаточных напряжений в заготовках из алюминиевых сплавов / Александров А.А., Лившиц А.В., Рудых А.В. // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2016 - № 1(49). – с. 52-56. (14)
11. Александров А.А. Прогнозирование динамики охлаждения заготовок из алюминиевых сплавов при термообработке / А.А. Александров // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2014 - №1(41). – с. 140-145. (15)
12. Мерер Х. Диффузия в твердых телах / Х. Мерер; пер. с англ. – Долгопрудный: Издательский дом «Интеллект», 2011. – 536 с. (6)
13. Полетика М.Ф. Контактные явления при резании металлов / М.Ф. Полетика (представлена проф. доктором А.М. Розенбергом) // Известия ТПИ им. С. М. Кирова, 1965. – Т. 133. – С. 106-112. (8)
14. Дерягин Б.В. Адгезия твердых тел / Б.В. Дерягин, Н.А. Кротова, В.П. Смилга. – М.: Наука, 1973. – 279 с. (1)
15. Косенков М.А. Повышение эффективности фасонного фрезерования постоянным смещением режущей кромки инструмента относительно поверхности резания: автореферат дис. ... канд. тех. наук: 05.02.07 / Косенков Михаил Алексеевич. – Орёл, 2013. – 20 с. (4)
16. Фетисов Г.П. Материаловедение и технология материалов / Г.П. Фетисов, Ф.А. Гарифуллин. – М : ИНФРА-М, 2017. – 395 с. – Текст : электронный. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/417658> (9)
17. Буторин Д.В., Филиппенко Н.Г., Лившиц А.В., Попов С.И. Исследования жидкофазного наполнения полимеров и композитов на их основе моторными маслами // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2017. № 2 (54). С. 60-66.
18. Чуклай И.В., Филиппенко Н.Г., Буторин Д.В. Технология маслonaполнения полимерных и композитных антифрикционных материалов // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. 2016. Т. 2. С. 490-495.
19. Кушнер В.С. Теория стружкообразования / В.С. Кушнер, О.Ю. Боргунова. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2011. – 176 с. (5)

REFERENCES

1. Novikov V.V. Analiz kontaktnykh yavlenij pri lezviynom rezanii metallov i smazochnoe dejstvie SOTS // Metalloobrabotka, 2015. – №1 (85). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-kontaktnykh-yavleniy-pri-lezviynom-rezanii-metallov-i-smazochnoe-deystvie-sots> (data obrashcheniya: 30.04.2020).
2. Filippenko N.G., Butorin D.V., Kargapol'tsev S.K., Livshits A.V. Fiziko-tekhnicheskiye protsessy v tekhnologicheskikh operatsiyakh termicheskoy, mekhanicheskoy, vysokochastotnoy i ul'trazvukovoy obrabotki polimernykh i kompozitnykh konstruktsionnykh materialov. – Irkutsk: IrGUPS, 2017. – 256 p.
3. SHarov A.A. Rezanie materialov [Elektr. resurs] : Konspekt lekcij / A.A. SHarov : Minobrnauki Rossii, SGAU. – Samara, 2014. – 157 p.
4. Fizicheskie yavleniya, vznikayushchie pri rezanii. URL: http://www.texnologia.ru/documentation/cutting_of_metals/2.html (date accessed: 30.04.2020).
5. Butorin D.V., Bychkovsky V.S., Filippenko N.G., Livshits A.V., Kargapol'tsev S.K. Investigations of mechanical, physical and technical processes in oil-filling of products made of polymeric and composite materials // VI International Symposium on Innovation and Sustainability of Modern Railway conference proceedings. 2018. pp. 447-451.
6. Kim V.A. Adgezionnye processy kontaktnogo vzaimodejstviya pri rezanii materialov / V.A. Kim, B.YA. Mokrickij, E.V. Samar, CH.F. YAkubov // Uchenye zapiski KnAGTU, 2018. – № I-1(33). – pp. 66-75.
7. Ermakov YU.M. Kompleksnye sposoby effektivnoj obrabotki rezaniem: Biblioteka tekhnologiya / YU.M. Ermakov. – М. : Mashinostroenie, 2005. – 272 s.: Tekst : elektronnyj. URL: <http://bookshare.net/books/machine/ermalovum/2005/files/kompleksniesposob2005.djvu>

8. YAkubov CH.F. Uprochnyayushchee dejstvie SOTS pri obrabotke metallov rezaniem / CH.F. YAkubov. – Simferopol': OAO «Simferopol'skaya gorodskaya tipografiya», 2008. – 156 p.
9. Alexandrov A. A. prediction of residual stresses arising during heat treatment of aluminum alloys / Alexandrov A. A. // Engineering Bulletin of the don. - 2015-No. 4 (38). - page 128.
10. Alexandrov A. A. Calculation of thermal residual stresses in billets of aluminum alloys / Alexandrov A. A., Livshits A.V., Rudykh A.V. // Modern technologies. System analysis. Modeling. - 2016-No. 1(49). pp. 52-56.
11. Alexandrov A. A. Forecasting of dynamics of cooling of billets from aluminum alloys at heat treatment / A. A. Alexandrov // Modern technologies. System analysis. Modeling. - 2014-No. 1(41). pp. 140-145.
12. Merer H. Diffuziya v tverdyh telah / H. Merer; per. s angl. – Dolgoprudnyj: Izdatel'skij dom «Intellect», 2011. – 536 p.
13. Poletika M.F. Kontaktnye yavleniya pri rezanii metallov / M.F. Poletika (predstavlena prof. doktorom A.M. Rozenbergom) // Izvestiya TPI im. S. M. Kirova, 1965. – T. 133. – pp. 106-112.
14. Deryagin B.V. Adgeziya tverdyh tel / B.V. Deryagin, N.A. Krotova, V.P. Smilga. – M.: Nauka, 1973. – 279 p.
15. Kosenkov M.A. Povyshenie effektivnosti fasonnogo freezerovaniya postoyannym smeshcheniem rezhushchej kromki instrumenta otnositel'no poverhnosti rezaniya: avtoreferat dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.02.07 / Kosenkov Mihail Alekseevich. – Oryol, 2013. – 20 p.
16. Fetisov G.P. Materialovedenie i tekhnologiya materialov / G.P. Fetisov, F.A. Garifullin. – M: INFRA-M, 2017. – 395 p. – Tekst: elektronnyj. – URL: <https://znaniyum.com/catalog/product/417658>
17. Butorin D.V., Filippenko N.G., Livshits A.V., Popov S.I. Issledovaniya zhidkofazno-go napolneniya polimerov i kompozitov na ikh osnove motornymi maslami // Sovremennyye tekhnologii. Sistemnyy analiz. Modelirovaniye. 2017. № 2 (54). pp. 60-66.
18. Chuklay I.V., Filippenko N.G., Butorin D.V. Tekhnologiya maslonapolneniya polimer-nykh i kompozitnykh antifriktsionnykh materialov // Transportnaya infrastruktura Sibir-skogo regiona. 2016. Vol. 2. pp. 490-495.
19. Kushner V.S. Teoriya struzhkoobrazovaniya / V.S. Kushner, O.YU. Borgunova. – Omsk : Izd-vo OmGTU, 2011. – 176 p.

Информация об авторах

Болдаков Максим Андреевич, студент 3 курса группы ПСЖ.4-17-1. Иркутского государственного университета путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: maximboldakov@gmail.com

Карпов Александр Владимирович, к.т.н., доцент кафедры «Автоматизация производственных процессов» Иркутского государственного университета путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: karpov48@bk.ru

Authors

Boldakov Maxim Andreevich, student of the 3 year of PSG group 4-17-1. Irkutsk State University of Communication, Irkutsk, e-mail: maximboldakov@gmail.com

Karpov Alexander Vladimirovich, Ph.D., associate professor of the department «Automation of production processes» of the Irkutsk State University of Railway Engineering, Irkutsk, e-mail: karpov48@bk.ru