

5. Романенко Ю.Е. Исследование металлургических свойств марганцеворудного сырья и природных восстановителей западной сиббири для получения сплавов на основе марганца: дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук / Ю.Е. Романенко. – Новокузнецк., 2011. – 150 с.
6. Лазаревский П.П. Комплексное изучение металлургических характеристик и повышение эффективности использования кварцитов Сунгайского рудопроявления: дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук / П.П. Лазаревский. – Новокузнецк., 2013. – 120 с.
7. Лазаревский П.П. Изучение температуры плавления и электросопротивления кварцитов различных месторождений / П.П. Лазаревский, И.Д. Рожихина. Исследование различных направлений современной науки. VIII Международная научно-практическая конференция. [Электронный ресурс]. – М.: Издательство «Олимп», 2016. – 1426с.
8. Электропроводимость и температура начала восстановления шихты производства низкоуглеродистого феррохрома / Роцин А.В. и [др.]. // Известия Вуз. ЧМ. – 2000. - №9. – С. 7 – 9.

УПРАВЛЕНИЕ ВИДОМ И ФОРМОЙ СТРУЖКИ ПРИ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ

А.А. Ласуков¹, к.т.н., доц., К.В. Зайцев¹, к.т.н., доц., Н.А. Ласукова², ученица класса 10Б шк. №10, В.В. Писмаркин¹, студент гр. 10А31

¹ Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451) 77761

² МБОУ "Средняя общеобразовательная школа № 10 г.Юрги" Кемеровской области

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Московская, 33

E-mail: lasukow@rambler.ru

Вид получаемой стружки влияет на многие факторы процесса производства. Создание станков повышенной быстроходности, жесткости и мощности, внедрение новых инструментальных материалов привело к существенному росту эффективности механической обработки, ее производительности в основном за счет увеличения скорости резания. С увеличением скоростей резания возникает необходимость обеспечения безопасного и рационального отвода стружки. Контроль за видом стружки в резании металлов важен для получения дробленой стружки и для облегчения ее утилизации, а также для защиты обрабатываемой поверхности, режущего инструмента, рабочего, для уменьшения затрат энергии при обработке материалов [1]. С появлением автоматизированных операций обработки необходимость контроля за стружкой и качеством обработки сборных изделий значительно возросла [2, 3, 4]. Умение управлять процессом стружкообразования важно также и при обработке восстановленных деталей машин [5]. В практике обработки конструкционных материалов выработан один из наиболее распространенных способов - резание инструментом, имеющим канавки на передней поверхности или препятствия на пути схода стружки. Это обеспечивает удовлетворительный отвод стружки. Сходящая стружка в таких случаях получается, как правило, сливной. Обработка материалов, при резании которых преобладает элементный характер стружкообразования, не является фактором, сдерживающим производство и работу на повышенных скоростях. В то же время изготовление специальных элементов на инструменте связано с определенными трудностями и приводит к его удорожанию.

Получение элементной стружки при обработке на станках облегчает ее удаление из зоны резания, что особенно важно при работе на станках-автоматах. Зелинский А.Н. [6] указывает на то, что при обработке с образованием элементной стружки увеличивается стойкость инструмента.

Исследование формирования стружки является наиболее эффективным и дешевым способом понимания характеристик обработки материалов.

Согласно исследованиям Куфарева Г.Л. [7] для обеспечения дробления стружки необходимо выполнить следующие условия: получение стружки с достаточной жесткостью; завивание стружки, обеспечиваемое неравномерностью деформации в различных слоях металла; направление движения стружки на естественное препятствие, изгибающее стружку в обратную сторону завиванию. Элементные стружки являются, как правило, жесткими, обладают переменной прочностью и имеют слабые связи по длине стружки в местах локализации деформации. Завивание этих стружек обеспечивается различием скоростей отдельных слоев металла в пластической области зоны стружкообразования. Направление движения стружки, изгибая ее в нужную сторону, можно обеспечить, изменяя радиус кривизны стружки в сторону его уменьшения.

Получение нужных формы и вида стружки очень сильно зависит от условий контакта на передней поверхности инструмента. Очевидно, что эти явления связаны с адгезионными свойствами обрабатываемого и инструментального материалов, что и было показано на основе конструкционных металлов [8, 9].

Повышенная адгезионная способность контактирующих материалов приводит к возрастанию силы трения на передней поверхности. А это приводит, как было показано выше, к изменению силы взаимодействия между элементами и образованию сливных стружек. Поведение металлов при трении зависит от их взаимной растворимости в твердом состоянии и способности образовывать между собой химические соединения. Таким образом, основным фактором, определяющим характер трения на передней поверхности, является способность металлов образовывать твердые растворы и интерметаллические соединения. Т.е. определяющее влияние на характер трения оказывают те химические свойства обрабатываемых материалов, от которых зависит их взаимная растворимость в твердом состоянии.

Зная условия перехода сливной стружки в элементную, можно управлять видом стружки без дополнительных элементов на инструменте, делая его дешевле. Управлять видом стружки можно посредством изменения свойств передней поверхности инструмента, меняя контактные условия. Одним из путей решения данной задачи является ионная имплантация инструмента ионами различных материалов. Это в свою очередь приводит при обработке титановых, жаропрочных и коррозионно-стойких сплавов, когда процесс обработки сопровождается интенсивным износом инструмента, к значительному повышению стойкости инструмента.

Изменяя свойства передней поверхности инструмента [10], можно управлять процессом стружкообразования за счет трансформации его основных характеристик: длина контакта, коэффициент трения, силы резания, угол сдвига и т.д. Ионная имплантация режущего инструмента приводит к изменению адгезионного взаимодействия стружки с инструментом. Вследствие этого изменяется характер стружкообразования, повышая в большинстве случаев хрупкость стружки, что облегчает ее ломание и удаление из зоны резания. Другие способы воздействия на инструмент из быстрорежущей стали показаны в работе [11], обработка пластин электронно-импульсным пучком рассмотрена в работе.

Выбор материала для имплантации должен осуществляться, исходя из условия максимального снижения вероятности схватывания между обрабатываемым материалом и инструментом.

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что, изменяя свойства передней поверхности, можно управлять процессом образования стружки, добиваясь нужных ее формы и вида. Учитывая, что параллельно с изменением характера стружкообразования, ионная имплантация влияет на работоспособность инструмента, имеет смысл для решения этих задач применять при обработке инструмент с модифицированной поверхностью.

В настоящей работе приводятся экспериментальные данные по обработке конструкционной стали 30ХГСА имплантированным инструментом. В качестве инструментального материала применялись четырехгранные пластинки из твердого сплава Т5К10. Имплантация производилась на установке ИОН-700 следующими материалами: Al, BN, TiB₂, ZrGf и Zr. Кроме этого, использовались пластинки с покрытием TiN, которые дополнительно подвергались имплантации различными материалами.

Обработка заготовки производилась на токарно-винторезном станке с ЧПУ 16K20Ф3С32 при постоянной подаче $S=0,21$ мм/об и глубине резания $t=2$ мм. Скорость резания при этом изменялась в довольно широком диапазоне $V=50...200$ м/мин. При этом параллельно регистрировали изменение силы резания и характеристик стружкообразования.

Как показывают экспериментальные данные по обработке конструкционной стали, стружка оказывается довольно чувствительной к изменению свойств инструментальной поверхности.

При обработке неимплантированным инструментом во всем диапазоне режимов резания образуется сливная стружка, которая в процессе обработки достаточно сильно запутывается. Такая стружка, с точки зрения безопасной работы, является неудобной и, скапливаясь в зоне обработки, мешает нормальной работе оборудования. При этом она скользит по поверхности детали, ухудшая качество обработанной поверхности [12]. Наматывание стружки на инструмент может приводить к потере его работоспособности. К тому же остановка работы для удаления такой стружки приводит к простоям оборудования, а, следовательно, к снижению производительности. При обработке таким инструментом наблюдаются высокие значения сил резания, что будет сказываться на стойкости инструмента, снижая последнюю.

В таблицах 1 и 2 представлены изменение внешнего вида стружки и ее боковой поверхности в зависимости от изменения скорости резания и вида модифицированной поверхности.






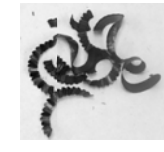














Анализ параметров процесса резания показал изменения сил резания, усадки стружки и угла сдвига при обработке в указанных условиях. Интересно заметить, что имплантация инструмента любым из применяемых в наших экспериментах материалов приводит к снижению усилий резания, усадки и увеличению угла сдвига. Все это приводит к более благоприятным условиям обработки стали, а также снижению энергетических затрат при резании [13].



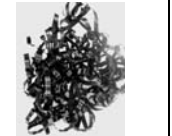
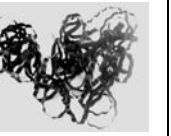
















Следует отметить, что инструмент с покрытием TiN и дополнительно имплантированный TiB₂ практически не оказывает влияния на процесс стружкообразования при обработке стали 30ХГСА. Как видно из представленных фотографий очень слабо меняется внешний вид стружки; боковая сторона стружки также не показывает изменения. Зато главная составляющая силы резания при этом интенсивно снижается в исследуемом диапазоне скоростей резания. Угол сдвига хоть и имеет большие значения, но в процессе обработки практически остается неизменным во всем исследуемом диапазоне скоростей резания. Усадка стружки имеет довольно низкие значения и с увеличением скорости резания меняется незначительно.

При имплантации инструмента другими материалами стружка из явно элементной при низких скоростях резания переходит в сливную с повышением скорости резания. Внешний вид стружки показывает, что стружка из «кусочечной» с повышением скорости превращается в ленту и в некоторых случаях образует клубки, тяжело удаляемые из зоны обработки. С такой стружкой также тяжело работать при скоростях, применяемых на производстве.

Свойства инструментальной поверхности оказывают разное влияние даже при имплантации инструмента одинаковым материалом. Из таблицы 1 видно, что при обработке инструментом, имплантированным алюминием (Al), стружка с повышением скорости резания превращается в ленту. Стружка, полученная при обработке инструментом с предварительно нанесенным покрытием (нитрид титана – TiN) и имплантированным ионами (Al), имеющая на низких скоростях сливной характер (зубчики на боковой поверхности не просматриваются), сохраняет таковой, на первый взгляд, и при высоких скоростях. Но при небольшом усилии она рассыпается на кусочки. Т.е. свойства покрытия совместно с имплантированным материалом уменьшают силы на передней поверхности, а именно силу трения, что приводит к образованию подобной стружки.

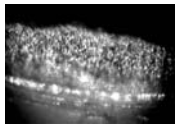
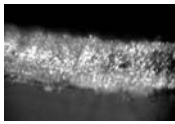

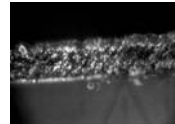


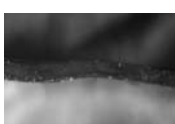



Таблица 1

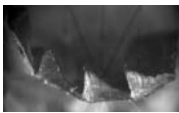

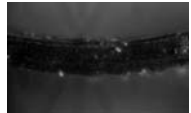






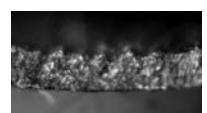
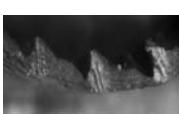
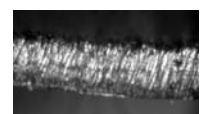
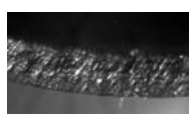











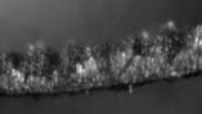




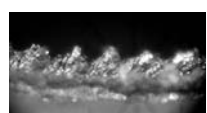
Имплантированный материал	Изменение внешнего вида стружки				
	Скорость резания, м/мин.				
	50	80	126	159	202
T5K10 (исходная)					
Al					
TiB ₂					
Zr					

Имплантированный материал	Скорость резания, м/мин.				
	50	80	126	159	202
BN					
Al с покрытием					
TiB ₂ с покрытием					
ZrGf с покрытием					

Представляет практический интерес обработка стали пластинами с покрытием TiN, дополнительно имплантированными ионами ZrGf (гафния 20%). При обработке таким инструментом наблюдается обратная картина стружкообразования. С увеличением скорости происходит переход к элементной стружке. Как показано в таблице 1 стружка на скоростях, близких к используемым на производстве (скорость примерно равна 200м/мин), рассыпается на отдельные элементы. Такая стружка удобна для удаления, транспортировки и переработки. Анализ изменения силы резания показал, что при этом существенно уменьшается главная составляющая силы резания (до 300 – 350 Н.) по сравнению с неимплантированным инструментом. Значения силы резания оказались ниже и по сравнению с работой инструментом, имплантированным другими материалами. Усадка стружки при обработке таким инструментом имеет малые значения и с изменением скорости резания меняется незначительно. Это свидетельствует о снижении степени деформации при обработке таким инструментом, что приведет к снижению нагрузок на инструмент и увеличению его работоспособности.

Таблица 2

Имплантированный материал	Боковая сторона стружки Скорость резания, м/мин.				
	50	80	126	159	202
T5K10 (исходная)					
Al					

Имплантированный материал	Скорость резания, м/мин.				
	50	80	126	159	202
TiB ₂					
Zr					
BN					
Al с покрытием					
TiB ₂ с покр.					
ZrGf с покрытием					

Объяснением этим явлениям может быть изменение адгезионных свойств на передней поверхности резца. При работе инструментом, имплантированным разными материалами, сила схватывания поверхностей стружки и инструмента различна. Аналогичные явления наблюдаются и при напылении деталей машин [14]. Схватывание вызывает застойные явления: на некоторой части длины контакта сцепление между разнородными металлическими поверхностями (стружка – резец) становится большим, чем сопротивление сдвигу контактного слоя стружки, тонкий слой затормаживается и дальнейшее скольжение происходит уже в материале стружки. Данный слой, очевидно, не позволяет стружке окончательно рассыпаться на элементы на повышенных скоростях резания. Интенсивность явлений схватывания определяется, главным образом, способностью контактирующих металлов взаимно растворяться [15].

Особенность такого взаимодействия инструмента, имплантированного ионами ZrGf, очевидно объясняется малым взаимодействием этих элементов с железом. Вероятность схватывания на передней поверхности уменьшается, силы резания снижаются, происходит переход к элементной стружке. Это говорит о разной степени протекания деформации в зависимости от свойств инструментальной поверхности.

В работе [16] проведен анализ равнодействующей силы резания и радиальных напряжений, возникающих в инструменте. Величина равнодействующей во всех случаях работы имплантированным инструментом получается меньше, чем при работе обычным инструментом. Причем при обра-

ботке инструментом с покрытием TiN+ZrGf значение равнодействующей оказывается наименьшим. Установлено и снижение напряжений при работе имплантированным инструментом. Снижения напряжений в инструменте, как указывают авторы, достигают за счет снижения равнодействующей силы резания и уменьшения угла между равнодействующей сил и биссектрисой угла клина ψ .

При работе инструментом, имплантированным TiB₂, данный угол увеличивается [16] во всем исследуемом диапазоне режимов резания. Это связано, очевидно, с малыми значениями сил в горизонтальной плоскости. При работе же инструментом с покрытием TiN+ZrGf данный угол уменьшается и имеет достаточно низкие значения. При этом равнодействующая сил приближается к биссектрисе угла режущего клина. Фотографии стружек показывают, что при имплантации инструмента TiB₂ с увеличением скорости стружка становится путаной. При обработке инструмента составом TiN+ZrGf стружка с увеличением скорости переходит в элементную и становится удобной для удаления из зоны резания.

Вышеприведенные исследования показывают, что ионная имплантация режущего инструмента несомненно приведет к изменению стойкости инструмента и качества обрабатываемой поверхности. Следовательно, можно сказать, что, изменяя свойства инструментальной поверхности посредством ионной имплантации, можно управлять процессом стружкообразования, повышать работоспособность инструмента, снижать энергетические затраты процесса резания, обеспечивать безопасное удаление стружки из зоны резания.

Исходя из анализа экспериментальных данных, можно рекомендовать для применения на автоматических линиях и станках с ЧПУ, не усложняя конструкцию инструмента дополнительными элементами для дробления стружки, при обработке стали 30ХГСА пластины из твердого сплава T5K10 с покрытием из TiN, имплантированными ионами ZrGf (гафния 20%).

Литература.

1. Aco Anti, Petar B. Petrovi, Milan Zeljkovi, Borut Kosec, Janko Hodoli The influence of tool wear on the chip-forming mechanism and tool vibrations // *Materials and technology* – 2012 - №3 (46). -p.p. 279–285.
2. Zhang X.D., Lee L.C., KHW Seah, Knowledge Base for Chip Management System // *Journal of Materials Processing Technology*. –1995 – Vol. 48, pp. 215-221.
3. Вальтер А.В., Лагунов С.Е. Определение припуска на поверхности вращения сборных корпусных изделий геохода // *Актуальные проблемы машиностроения*. – 2015. – № 2. – С. 152-157.
4. Вальтер А.В., Аксенов В.В., Бегляков В.Ю., Чазов П.А. Определение погрешности расположения секторов стабилизирующей секции геохода на основе данных координатного контроля // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. – 2015. – № 4 (69). – С. 31-42.
5. Valentov A.V., Konovodov V.V., Agafonova E.V. Forecasting residual and operating stress in soldering cutting tools with tungsten-free hard alloy inserts // *Applied Mechanics and Materials*. –2013. – Vol. 379, pp. 28-31.
6. Зелинский А.Н. Повышение производительности механической обработки управлением процессами деформирования материала срезаемого слоя: Автореферат дисс. ... канд. техн. наук. Тула, 1974.
7. Куфарев Г.Л., Окенов К.Б., Говорухин В.Д. Стружкообразование и качество обработанной поверхности при несвободном резании. Фрунзе: Мектеп, 1970. - 169 с.
8. Ковалевская Ж.Г., Толмачев А.И., Клименов В.А., Зайцев К.В. Исследование адгезии покрытий, полученных высокоскоростным газопламенным напылением // *Сварочное производство*. – 2014. – № 2. – С. 40-45.
9. Klimentov V.A., Kovalevskaya Z.G., Ul'yanitskii V.Y., Zaitsev K.V., Borozna V.Y. Effect of ultrasound treatment of the substrate on the formation of the coating in detonation spraying // *Welding International*. – 2010. – Т. 24. – № 10. – С. 803-807.
10. Васин С.А., Верещака А.С., Кушнер В.С. Резание металлов. Термомеханический подход к системе взаимосвязей при резании: Учеб. для техн. вузов. М: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. - 448с.ил.
11. Petrova V. A., Bakanov A. A., Walter A. V. Crack Resistance of Weld Seals, Hardening Methods and Composite Tools Quality // *Applied Mechanics and Materials*. – 2014. – vol. 682. – pp. 431–437.
12. Guosheng Sua, Zhanqiang Liuc, Liang Lie, Bing Wangc, Influences of chip serration on microtopography of machined surface in high-speed cutting // *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. – 2015. – Vol. 89. – pp. 202-207.
13. Astakhov V.P., Shvets S.V., Osman M.O.M. Chip structure classification based on mechanics of its formation // *Journal of Materials Processing Technology*. – 1997. – Vol. 71. – pp. 247 257.

14. Klimenov V.A., Kovalevskaya Z.G., Ul'yanitskii V.Y., Zaitsev K.V., Borozna V.Y. Effect of ultrasound treatment of the substrate on the formation of the coating in detonation spraying // Source of the Document Welding International – 2010. – v. 24 (10). – pp. 803-807.
15. Брюхов В.В. Повышение стойкости инструмента методом ионной имплантации. – Томск: Изд-во НТЛ, 2003. – 120с.
16. Lasukov A.A., Mikhovikov A.A. Influence of modified layer of tool on stress - Strain state of cutting wedge, Proceedings - 2012 7th International Forum on Strategic Technology, IFOST 2012.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ПРОФИЛЬНОМ ГЛУБИННОМ ШЛИФОВАНИИ С СОТС

В.Ф. Макаров, д.т.н., проф., С.П. Никитин, к.т.н., доц.

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Адрес 614990 г. Пермь, Комсомольский пр., д.29, тел. 8 (342) 219-82-95

E-mail: makarovv@pstu.ru

Физические процессы, происходящие в зоне обработки при глубинном шлифовании, развиваются в рамках замкнутой системы, которая включает упругую систему станка, процесс глубинного шлифования и теплообмен в зоне резания. Взаимодействие этих процессов определяет устойчивость глубинного шлифования, динамику тепловых и контактных деформаций в зоне обработки, которые влияют на качество и надежность обрабатываемых деталей [1].

В работе [2] была предложена математическая модель и методика расчетов тепловых процессов при абразивной обработке, как часть комплексной тепло-динамической системы шлифовального станка. Для построения математической модели использован метод прямой аналогии, который позволяет отразить как тепловые, так и процессы другой физической природы. На основе данной модели были исследованы вопросы устойчивости глубинного шлифования без учета теплоотвода с помощью СОТС. Для учета теплоотвода с СОТС необходимо доработать динамическую модель тепловых процессов при глубинном шлифовании.

Представим схему итоговых потоков теплообмена между инструментом Q_k , заготовкой Q_d , стружкой $Q_{стр}$, а также смазочно-охлаждающим технологическим средством $Q_{СОТС}$, как показано на рис. 1.

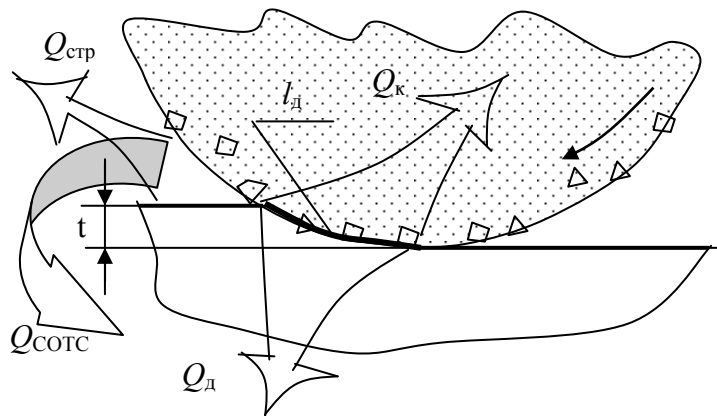


Рис. 1 Схема итоговых потоков теплообмена при глубинном шлифовании с СОТС

Используя метод прямой аналогии и необходимые допущения, получаем следующую эквивалентную схему, которая отражает динамику тепловых процессов при глубинном шлифовании при использовании СОТС (Рис. 2).

Потенциалы в узловых точках эквивалентной схемы отражают средние температуры условных элементов исходной системы. Узел 1 определяет среднюю температуру стружки, узел 2 связан со средней температурой на передней поверхности обобщенного зерна. Узел 3 показывает среднюю