

УДК 621.791.94

А. А. Москвичев, А.Р. Кварталов

ТЕНДЕНЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗВРЕДНОГО «СУХОГО РЕЗАНИЯ» МЕТАЛЛОВ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Рассматривается возможность создания экологически безопасной механической обработки путем применения технологии «сухого резания» с полным отказом от применения СОТС. Показана возможность компенсации действия СОТС совмещением трех элементов в системе резания: режущего инструмента с многофункциональным покрытием; ионизирующей газовой среды, подаваемой в зону резания; ультразвуковых колебаний, накладываемых на режущий инструмент. Приводятся результаты исследования влияния сухого электростатического охлаждения на остаточные напряжения в поверхностных слоях детали. Даются рекомендации к применению экологически безопасного резания металлов в технологии обработки.

Ключевые слова: механическая обработка, контактные процессы, покрытие на инструменте, ультразвуковые колебания инструмента, электростатическое охлаждение.

Установлено, что контактные процессы при лезвийной обработке металлов существенно влияют на параметры работы системы резания. В то же время характер и содержание этих процессов в значительной степени зависят от проникающей способности смазочно-охлаждающих технологических сред (СОТС), с использованием которых часто осуществляется процесс резания металлов.

В настоящее время промышленное производство России и зарубежных стран использует большое количество различных СОТС, наносящих огромный экологический ущерб окружающей среде. Применяемые в мировой практике металлообработки СОТС, особенно на масляной основе, чрезвычайно вредны для здоровья человека. В частности, трихлорэтилен, ортофосфаты способствуют возникновению депрессии нервной системы человека; нитриды и их комбинации с диэтанолaminaми являются сильнейшими канцерогенами; свинцовые мыла и хлорированный нафталин приводят к тяжелым кожным заболеваниям; сернистые соединения очень токсичны. В результате термодеструкции СОТС при резании металлов окружающая воздушная среда загрязняется химическими веществами типа масляных аэрозолей, альдегидов, хлористого водорода, формальдегидов, нитратов натрия, представляющих высокую угрозу здоровью человека и животных.

Мировая тенденция и стратегия ведущих стран мира при создании новых процессов механической обработки резанием металлов связана с частичным или полным отказом от применения СОТС, особенно содержащих хлор, серу, водные растворы электролитов и щелочей и др. [1-3]. Традиционные подходы к проблеме снижения вредного техногенного воздействия СОТС на окружающую среду в основном связаны с минимизацией количества СОТС, подаваемых в зону обработки, заменой токсичных компонентов СОТС на безвредные со сходным физическим действием, использованием методов активации СОТС и улучшения ее проникающей способности [1-4].

В последнее время все большее применение получают технологии «сухого резания» с полным отказом от СОТС. Технология «сухого резания» обычно включает применение новых инструментальных материалов (с износостойким многофункциональным покрытием, режущая керамика повышенной прочности, сверхтвердые материалы) или дополнительные источники энергии при комбинированном резании металлов [2,4,5].

В статье рассматриваются вопросы создания экологически безопасного высокоэффективного «сухого резания» для различных технологических операций механической обработки разнообразных материалов.

Известно [4], что применение СОТС при резании металлов существенно влияет на

контактные процессы, возникающие в зоне трения стружки, инструмента и обработанной поверхности. В результате интенсивной пластической деформации срезаемого слоя деформируемые объемы металла сильно разогреваются, причем особенно интенсивно в слоях, примыкающих к поверхностям трения. Пластическая деформация и сильный нагрев приводит поверхности трения металлов в состояние так называемой трибоплазмы. В частности, такие изменения контактных процессов связаны со значительным уменьшением энергетических затрат на упругопластическое деформирование срезаемого слоя и трение, что приводит к снижению термомеханической напряженности зоны резания, инструмента и обработанной поверхности детали (охлаждающий, смазочный и пластифицирующий эффекты). Это позволяет резко интенсифицировать процесс резания металлов, например, в результате увеличения скорости резания. Поэтому отказ от применения СОТС обуславливает альтернативную компенсацию упомянутых негативных эффектов.

В технологии экологически безопасного резания металлов предлагается применение трех основных элементов в системе резания, компенсирующих отсутствие СОТС: режущий инструмент с многофункциональным покрытием; ионизированная газовая среда, подаваемую в зону резания; ультразвуковые колебания, накладываемые на режущий инструмент (рис. 1).

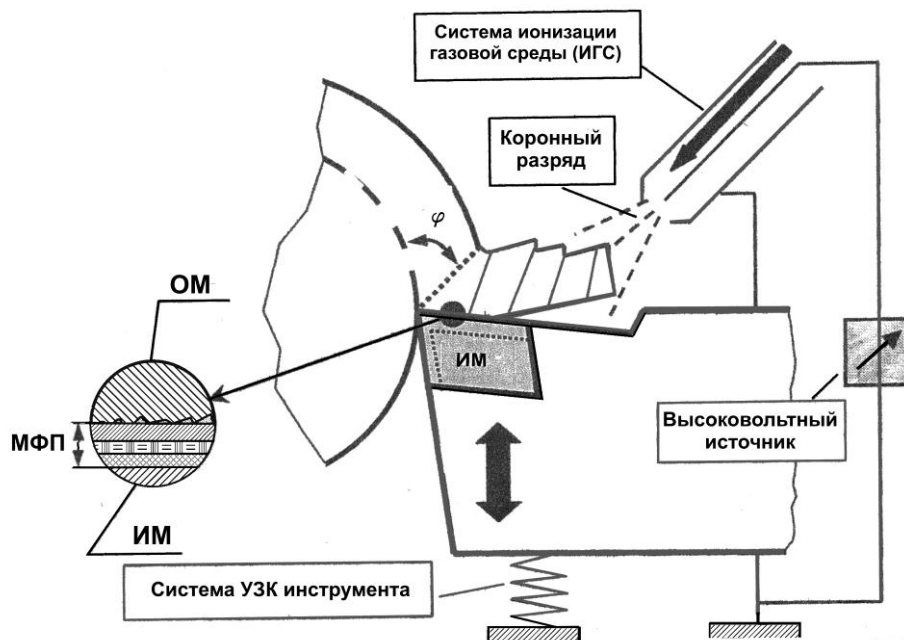


Рис. 1. Принципиальная схема элементов системы экологически безопасного резания металлов:

ОМ – обрабатываемый материал; ИМ – инструментальный материал;
УЗК – ультразвуковые колебания; МФП – многофункциональное покрытие

Ключевым элементом предлагаемой системы экологически безопасного «сухого резания» является режущий инструмент со специальным многофункциональным покрытием, включающим износостойкий, трибоактивный и активный слои, чередование которых в супермногослойной конструкции покрытия позволяет выполнить несколько функций. Износостойкий слой, имеющий повышенную твердость и термическую устойчивость, позволяет снизить интенсивность изнашивания инструмента в условиях повышенных термомеханических напряжений, характерных для «сухого резания». Трибоактивный слой, содержащий трибоактивные элементы (например, β -С, MoS_2 , соединения йода и др.), снижает трение и усиленное теплообразование основных фрикционных источников тепла, возмещая отсутствие смазочного эффекта СОТС.

Активный слой, содержащий активные элементы (Al, Ti и др.) в виде перенасыщенных твердых растворов в соединениях тугоплавких металлов, которые адаптированы для взаимодействия с элементами, проникающими из ионизированной газовой среды (например, O^{\pm} , C^+ , N^+ и др.) в зону контакта фрикционной пары. В результате взаимодействия элементов газовой среды и активного слоя многофункционального покрытия на контактных участках режущего инструмента непрерывно образуются тонкие пленки толщиной 50 – 100 нм, в виде твердых тугоплавких соединений (например, оксиды, оксинитриды, оксикарбиды и т.п.), что приводит к увеличению сопротивляемости инструмента изнашиванию и одновременному снижению трения, приводящего к износу.

Конструкция многофункционального покрытия на инструментальном материале основана на супермногослойной структуре с толщиной каждого слоя порядка 50–200 нм. Такая конструкция позволяет не только заметно повысить сопротивляемость макро- и микро-разрушению в условиях адгезионно-усталостных процессов и термоциклического нагружения инструмента, присущих процессам при резании металлов, но и формировать в объеме покрытия новое сочетание физико-механических свойств, резко повышающих его эффективность при лезвийной обработке. В частности, возможно получение более благоприятного соотношения таких характеристик покрытия, как твердость и пластичность. Вместе с тем, для супермногослойного покрытия характерна низкая дефектность и повышенная прочность, что обусловлено резким снижением количества дефектов по мере уменьшения толщины каждого слоя покрытия и возможностью выполнения прочностных свойств на уровне планируемых. Синтез такого супермногослойного многофункционального покрытия осуществляется с помощью специальной нанотехнологии, реализуемой в вакуумно-дуговых установках.

Существенным элементом экологически безопасного «сухого резания» являются ионизированные газовые среды, введение которых в зону резания необходимо для компенсации охлаждающего, смазывающего и пластифицирующего физических эффектов, присутствующих процессу резания с применением СОТС. Для увеличения проникающей способности элементов газовой среды и стимуляции физико-химических контактных процессов в зоне трения стружки с режущим инструментом производится активация газовой среды – ионизация ее с помощью электрических разрядов разных видов [5, 7].

Для повышения проникающей способности ионизированной газовой среды, особенно при высокоскоростной лезвийной обработке, предлагается использование ультразвуковых колебаний, накладываемых на режущий инструмент в направлении скорости резания, что способствует увеличению упругого контакта стружки с инструментом, стимулируя повышенное проникновение элементов ионизированной среды к активным слоям покрытия. Кроме этого, ультразвуковые колебания выполняют важную самостоятельную роль управления неустойчивых упругопластических деформаций. В частности, при наложении на режущий инструмент высокочастотных тангенциальных колебаний возможно устранение эффекта неустойчивости в зоне стружкообразования, если частота колебаний выше частоты неизо-термической неустойчивости деформационных процессов в получаемой стружке [7].

Исследование влияния сухого электростатического охлаждения (СЭО) на поверхностные остаточные напряжения, проведенные в НИИД [2], обнаружили, что резание металлов с таким охлаждением благоприятно сказывается на формировании поверхностных остаточных напряжений. Обрабатываемая трубная заготовка из нержавеющей стали 12Х18Н9Т была разделена на три участка, обработка которых производилась: первого – без охлаждения, второго – с сухим электростатическим охлаждением, третьего – с применением СОЖ «Укринол-1». Обработка осуществлялась на режиме резания: $V = 100$ м/мин, $S = 0,21$ мм/об, $t = 1,5$ мм. В качестве режущего инструмента применялся резец с неперетачиваемыми пластинками квадратной формы из твердого сплава ВК60М. Обработка каждого участка производилась острой режущей кромкой

с целью исключения влияния износа инструмента на формирование остаточных напряжений и позволяла учесть более точное воздействие особенностей охлаждения.

После резания из каждого участка электроэрозионным методом вырезалось по три образца для исследования каждого вида напряжений, которые проводились на автоматизированном комплексе «ПОВКОН «Тензор» [9]. Исследования остаточных напряжений обнаружили, что при обработке с использованием сухого электростатического охлаждения в поверхностном слое возникали благоприятные осевые остаточные напряжения сжатия с подслоиным максимумом 300–350 МПа на глубине 20 мкм. Сжимающие напряжения распространяются на глубину до 200 мкм (рис. 2, рис. 3).

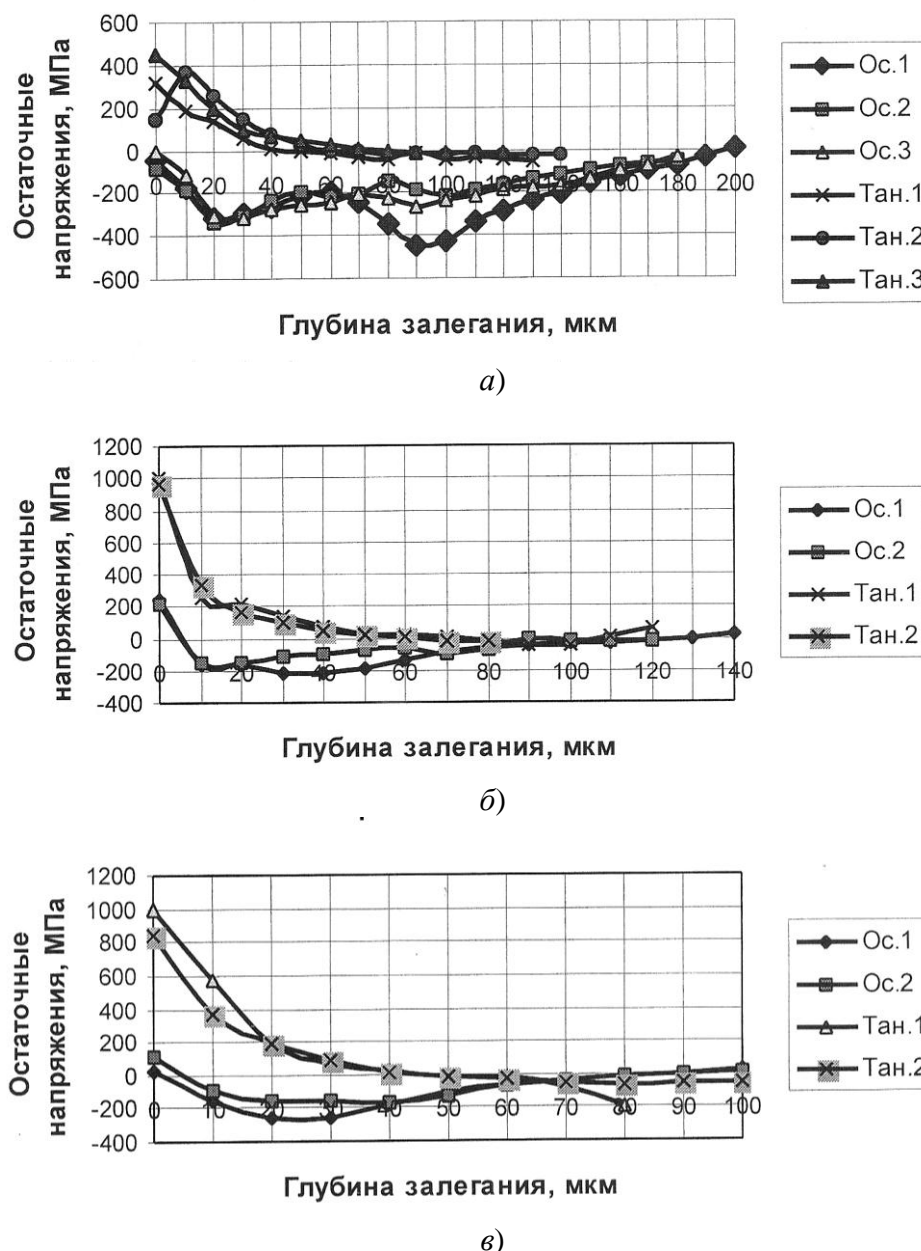
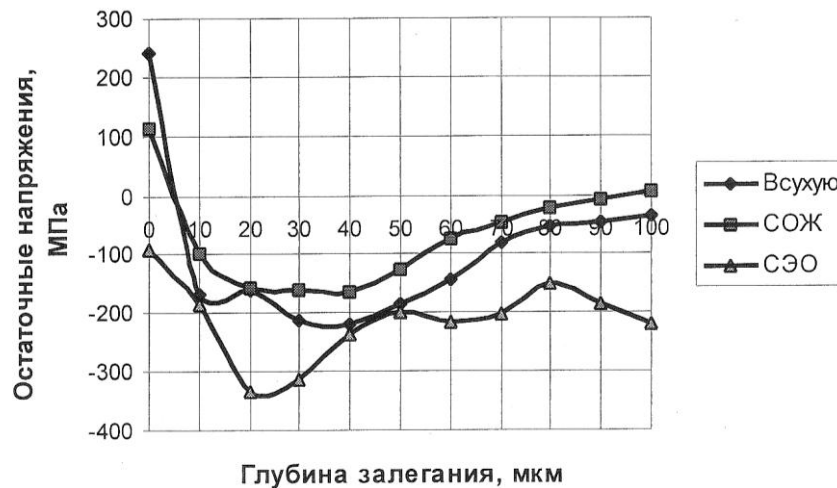


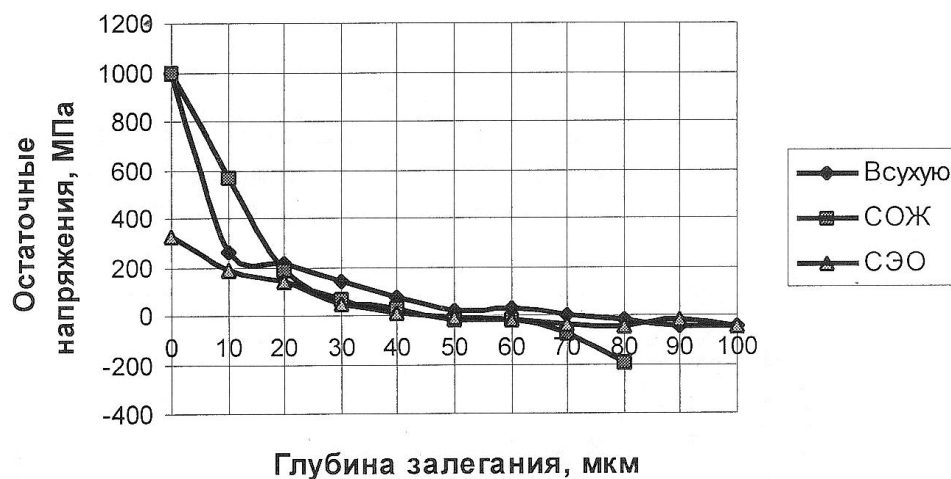
Рис. 2. Распределение остаточных напряжений в поверхностном слое детали по глубине залегания при точении:
 а – с СЭО; б – всухую; в – с СОЖ

Важно отметить, что тангенциальные остаточные напряжения являются растягивающими, максимум которых (200–400 МПа) находятся на поверхности или глубине 40–50 мкм. При резании же с применением СОЖ или без охлаждения появлялись менее благоприятные

остаточные напряжения. Так, если величины максимальных осевых остаточных напряжений сжатия близки к таковым при обработке с использованием сухого электростатического охлаждения (150–300 МПа), то глубина их распределения в 2–3 раза меньше. Более того, на многих образцах на поверхности появились растягивающие напряжения до 200 МПа. Еще большая разница получена при определении тангенциальных окружных остаточных напряжений. Так, если при обработке с применением СОЖ и без охлаждения величины растягивающих напряжений в поверхностном слое достигли 800–1000 МПа при глубине их распределения 50–60 мкм, то при сухом электростатическом охлаждении их максимальные значения не превышают 200–400 МПа.



а)



б)

Рис. 3. Остаточные напряжения при точении стали 12Х18Н9Т:
а – осевые; б – тангенциальные

Кроме этого, при сухом электростатическом охлаждении на глубине 40–50 мкм эти напряжения превращаются в сжимающие. При этом тангенциальные растягивающие напряжения незначительной величины можно устранить последующей полировкой или упрочнением пластическим деформированием поверхностного слоя детали и изменением режима резания.

Таким образом, технология экологически безопасного резания металлов основывается на возможности управления контактными процессами, трением, стружкообразованием, направлением и интенсивностью тепловых потоков, износостойкостью режущего инструмента в процессе «сухого резания». В результате объединения нескольких механизмов взаи-

модействия элементов газовой среды, проникновение которых на контактные поверхности режущего инструмента с многофункциональным покрытием стимулируется ультразвуковыми колебаниями, возникает несколько физических эффектов, компенсирующих основные действия СОТС:

1. Формируются антифрикционные пленки и упрочняющие фазы соединений тугоплавких металлов, в результате этого за счет снижения адгезионной активности многофункционального покрытия уменьшается трение, мощность фрикционных источников тепла, термомеханические напряжения и интенсивность изнашивания контактных поверхностей режущего инструмента (смазывающий и пассивирующий эффекты).

2. Снижается поверхностная прочность прирезцово́й поверхности стружки благодаря высокой проникающей способности элементов газовой среды и последующего «расклинивающего» эффекта, в результате образуется элементная стружка, наиболее удобная для удаления из зоны резания (пластифицирующий эффект Ребиндера).

3. Перераспределяется направленность тепловых потоков и их интенсивность, что позволяет регулировать эффекты упрочнения и разупрочнения инструментального и обрабатываемого материалов, снижаются энергетические затраты на процесс резания за счет разупрочнения обрабатываемого материала в зоне обработки, увеличивается сопротивляемость инструментального материала макро- и микроразрушению (упрочняющий и разупрочняющий эффекты).

4. Увеличивается теплопроводность среды, окружающей зону резания, что позволяет существенно интенсифицировать теплоток в эту среду и снизить температуру в зоне обработки (охлаждающий эффект).

Для определения областей наиболее эффективного применения экологически безопасного «сухого резания» требуются масштабные лабораторно-промышленные исследования, однако проведенные испытания позволяют установить определенную эффективность этой технологии резания металлов. Отмеченное относится:

- к обработке небольших заготовок;
- финишной обработке на высоких и сверхвысоких скоростях резания;
- резанию труднообрабатываемых материалов;
- серийному производству, не требующему частой переналадки оборудования;
- обработке конструкционных материалов, которые не допускают применения СОТС.

Библиографический список

1. **Латышев, В. Н.** Экологически чистые смазочно-охлаждающие технологические средства / В. Н. Латышев [и др.] // Вестник машиностроения. 1999. № 7. С. 32–35.
2. **Поклад, В. А.** Экологически безопасная технология резания / В. А. Поклад [и др.] // Двигатели и экология: тез. докл. научно-технич. симпозиума. – М.: ВВЦ, 2000. С. 47–54.
3. **Матвиевский, Р. М.** Повышение экологической чистоты смазочных масел // Трение и износ. 1994. Т. 15. №5.
4. **Латышев, В. Н.** Повышение эффективности СОЖ / В. Н. Латышев. – М.: Машиностроение, 1985. – 65 с.
5. **Верещака, А. С.** Повышение эффективности лезвийной обработки применением экологически чистых сред / А. С. Верещака, А. К. Кириллов, Е. А. Чекалова // Новые технологии в машиностроении: тенденции развития, менеджмент, маркетинг. Интерпартнет – 97: тр. VII междунар. науч.-техн. семинара. – Харьков: ХГПУ, 1997. С. 45–46.
6. **Козлов, А. А.** Численное моделирование процессов неизометрической неус-точивости пластической деформации металлов / А. А. Козлов, П. В. Кузин // Тр. Междунар. конф. – Варна. Болгария. 1989. С. 98–104.
7. **Подураев, В.Н.** Механическая обработка с охлаждением ионизированным воздухом / В. Н. Подураев, А. С. Татаринев, В. Д. Петрова // Вестник машиностроения. 1991. № 11. С. 27–31.
8. **Верещака, А. С.** Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями / А. С. Верещака. – М.: Машиностроение. 1993. – 337 с.

9. Меркулова, Н.С. Контроль поверхностных остаточных напряжений в металлах и покрытиях // Гальванотехника и обработка поверхности. 1993. Т. 2. № 5.

*Дата поступления
в редакцию 04.06. 2015*

A. A. Moskvichev, A.R. Kvartalov

TENDENCIES ECOLOGICALLY HARMLESS "DRY CUTTING" OF METALS

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R. E. Alexeev

Purpose: The possibility of creating environmentally friendly machining by the application of technology of "dry cutting" with a complete rejection of the use of COTS.

Approach: It is known that the use of COTS when cutting metals significantly affects the contact processes, which determine the elastoplastic deformation of the shear layer and the thermo-mechanical tensions in the cutting zone.

Findings: The possibility of compensation of action of COTS by the combination of three elements in the system of cutting: cutting tool with multifunction coating, ionizing the gaseous medium supplied to the cutting zone and ultrasonic vibrations are superimposed on the cutting tool.

Research implications: The results of using the tool with multi-functional coating comprising a wear-resistant, tabactivity and active layers in super multilayer coating structures and the influence of dry electrostatic cooling on the residual stress in the surface layers of a detail.

Value: Thus, the technology is environmentally safe metal cutting is based on the possibility of influence on the contact processes with the objective of increasing the wear resistance of the cutting tool. Recommendations for use of this method in processing technology.

Key words: machining, contact processes, the coating on the instrument, ultrasonic vibrations of the tool, the electrostatic cooling.