

**МЕНУМЕРОВ Э.Р., МЕМЕТОВ С.Р.,  
ЯКУБОВ Ч.Ф.**, канд. техн. наук, Симферополь, Украина

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОДИФИЦИРОВАННЫХ СОТС РАСТИТЕЛЬНОЙ ПРИРОДЫ НА СОСТАВЛЯЮЩИЕ СИЛЫ РЕЗАНИЯ**

Розглядається можливість збільшення експлуатаційних характеристик рослинних олій які використовуються в якості МОТС за рахунок введення до їх складу антиоксидантів. Показані результати вимірювання сил різання в середовищі антиоксидантів та інертних газів.

Рассматривается возможность увеличения эксплуатационных характеристик растительных масел используемых в качестве СОТС за счет введения в их состав антиоксидантов. Показаны результаты измерения сил резания в среде антиоксидантов и инертных газов.

The possibility of increasing the performance of vegetable oils used as coolants through the introduction of their antioxidants. Shows the measured cutting forces in the environment of antioxidants and inert gases.

Роль СОТС как обязательного элемента современного технологического процесса значительного резерва повышения производительности и качества обработки общепризнанна и неоспорима. Тем не менее, анализ современных производственных процессов показывает, что именно СОТС являются одним из главных загрязнителей окружающей среды и причиной, вызывающей заболевания обслуживающего персонала.

Такое положение нуждается в пересмотре традиционных схем эксплуатации технологических смазок и обосновывает обращение производственных компаний в сторону новых решений в этой области. Одним из таковых является использованием в качестве СОТС экологически безвредных смазок на основе растительных масел, которые по своей природе являются безвредными для окружающей среды и человеческого организма, а также имеют более высокие трибологические характеристики, чем минеральные масла [1, 2, 3].

Однако широкое использование растительных масел в качестве СОТС, в настоящее время, ограничивается комплексом нерешенных задач, главными из которых являются: повышение смазочно-охлаждающей эф-

фективности (трибо-технологических параметров); увеличение ресурсной стабильности и окислительной стойкости (особенно при высоких температурах), расширение области температур их эффективного использования; снижение расхода масел (вследствие их относительно высокой стоимости) и др.

Одним из перспективных направлений решения указанных задач, как показывает анализ научных публикаций, является модификация состава растительных масел введением примесей на основе активных жирорастворимых соединений. Используя физико-химические особенности примесей, оказывается возможным влиять на процессы термоокислительной деструкции СОТС и, как следствие, трибологические характеристики пары трения (интенсивность износа, фрикционную теплостойкость, силы резания, качество обработанной поверхности и др.)

В соответствии с современными представлениями СОТС в процессе резания может производить смазывающее, проникающее, охлаждающее, пластифицирующее и моющее действия [4]. Разделить различные эффекты действия СОТС бывает весьма сложно, так как они могут проявляться одновременно и порознь в различных зонах контактной поверхности инструмента, стружки и заготовки в зависимости от особенностей операции и режимов резания, характеристик обрабатываемого инструментального материалов. В случаях минимизированного использования СОТС (в виде аэрозоли) моющее и охлаждающее действия практически не проявляются.

Смазывающее и проникающее действия СОТС проявляется преимущественно в зоне контакта резца и стружки, а также контакта резца и заготовки. Данные действия обусловлены способностью СОТС вступать в физическое, химическое и физико-химическое взаимодействие с активированными поверхностями контактной зоны и образовывать на них гидродинамические и граничные (адсорбционные и химические) смазочные пленки. Ввиду специфических особенностей применения растительных масел в качестве СОТС, а именно работа на заниженных режимах при температуре до 350°C [1], в основном возникают адсорбционные смазочные пленки. Поверхностно-активные молекулы, содержащиеся в растительных маслах в виде триглицеридов, прочно адсорбируются слоями на контактирующих металлических поверхностях.

Пластифицирующее действие СОТС тесно связано с эффектом адсорбционного понижения прочности или эффектом Ребиндера [5]. Под этим действием СОТС подразумевается их способность пластифицировать металл благодаря наличию в них поверхностно-активных веществ (ПАВ).

Эффект адсорбционного понижения прочности обусловлен прежде всего тем, что ПАВ, понижая поверхностную энергию металла, способствуют зарождению пластических сдвигов и развитию разнообразных дефектов при меньших напряжениях.

Однако в нормальных условиях трения и износа, а также при обработки металлов резанием явление адсорбционного понижения прочности выражены не очень ярко, и различия при обычных испытаниях в инактивной смазке и той же смазке с малыми добавками ПАВ сравнительно невелики (применение физических методов исследования позволяют их обнаружить) [6]. В связи с этим Б.И. Костецким [7], было выдвинуто предположение об экранирующем действии оксидных пленок, возникающих в присутствии кислорода воздуха и резко снижающих эффект пластифицирующего действия ПАВ при трении.

Своеобразная и очень важная роль кислорода воздуха в процессах трения и износа, полностью сохраняется в присутствии органических ПАВ. Это объясняется, прежде всего, тем, что скорость хемосорбционного взаимодействия кислорода с поверхностью металла значительно превышает скорость адсорбции ПАВ.

В этой связи, научный и практический интерес представляет модификация СОТС растительной природы антиоксидантами (АО) – органическими соединениями, обладающими явно выраженными антиокислительными свойствами.

Согласно проведенному анализу [8], наиболее эффективным и отвечающим требованиям экологической безопасности реагентом из всех рассмотренных АО является витамин Е ( $\alpha$ -токоферол).

Являясь жирорастворимым веществом, выбранный АО легко смешивается с растительными маслами и ингибирует действие кислорода, находящегося в зоне резания (рис. 1). Происходит это благодаря восстановительным свойствам АО, скорость взаимодействия с кислородом которых, значительно выше скорости хемосорбционного взаимодействия кислорода с металлом. Также в случае возникновения оксидных пленок, АО попадая на поверхность оксидной пленки, химическим путем извлекают из нее кислород и восстанавливают металл до нормального (металлического) состояния. Таким образом, обеспечивая непосредственное взаимодействие ПАВ с металлом и как следствие усиливая их адсорбционные и пластифицирующие действия.

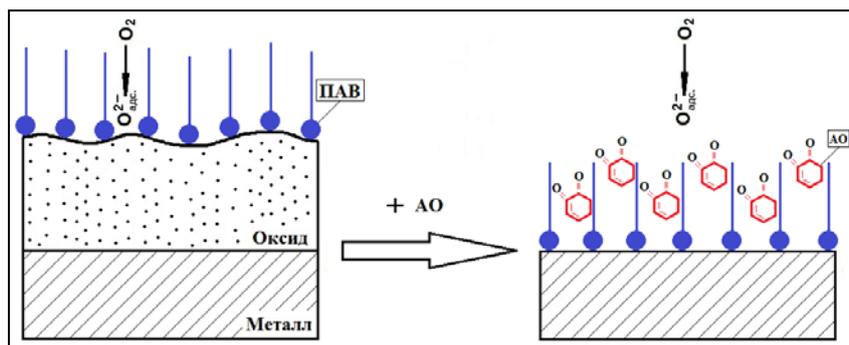


Рисунок 1 – Схема ингибирования АО процесса возникновения оксидной пленки

Способность витамина Е блокировать действие кислорода обусловлена содержанием в нем трижды метилированного фенольного кольца с системой сопряженных двойных связей, поэтому он легко отдает электрон свободным радикалам, восстанавливая их до свободных продуктов. При этом действие АО сравнимо с действием инертных газов (устранение воздуха из зоны резания достигается избыточным давлением инертного газа, например аргона, который в 3 раза тяжелее воздуха). Поэтому установить роль и значение АО в процессе резания возможно при проведении аналогии с инертными газовыми средами. В этом случае частично или полностью исключается действие кислорода, азота, водорода и водяного пара, содержащихся в воздухе при взаимодействии с которыми, на ювенильных поверхностях образуются оксиды, нитриды, гидриды и твердые растворы с их участием. В случае с АО нейтрализация кислорода воздуха происходит благодаря химическому ингибированию его действия (скорость взаимодействия АО с кислородом выше скорости хемосорбции кислорода в металл).

На основании вышеизложенного были проведены исследования сил резания в среде различных СОТС. Силовые параметры процесса резания определялись как показатель изменения пластифицирующего и смазывающего действий СОТС.

Составляющие силы резания измерялись универсальным динамометром УДМ-600, сигналы которого посредством аналогово-цифрового преобразователя 812ПИ4 передавались на ПК, и обрабатывались специально разработанным под данный динамометр программным обеспечением ЛИС-16С.

Эксперименты проводились на универсальном токарно-винторезном станке повышенной точности модели SAMAT 400M (рис. 2). В качестве заготовки использовались нержавеющая сталь 12Х18Н10Т и титановый сплав ВТ-22. Скорость резания варьировалась в пределах 5-40 м/мин, по-

дача 0,1 мм/об, глубина резания составляла 0,5 мм. При таких режимах достигаются максимальные смазывающие, проникающие и пластифицирующие действия СОТС растительной природы [1].

В качестве сред при резании использовались:

1. Индустриальное масло И-20;
2. Подсолнечное масло (ПМ);
3. Рапсовое масло (РМ);
4. Подсолнечное масло + АО (ПМ+АО);
5. Рапсовое масло + АО (РМ+АО);
6. Подсолнечное масло + инертный газ (ПМ+Ar);
7. Рапсовое масло + инертный газ (РМ+Ar).

Стандартная марка СОТС на минеральной основе (И-20) применялась для обеспечения сравнительного анализа наряду с растительными маслами и их модификациями.

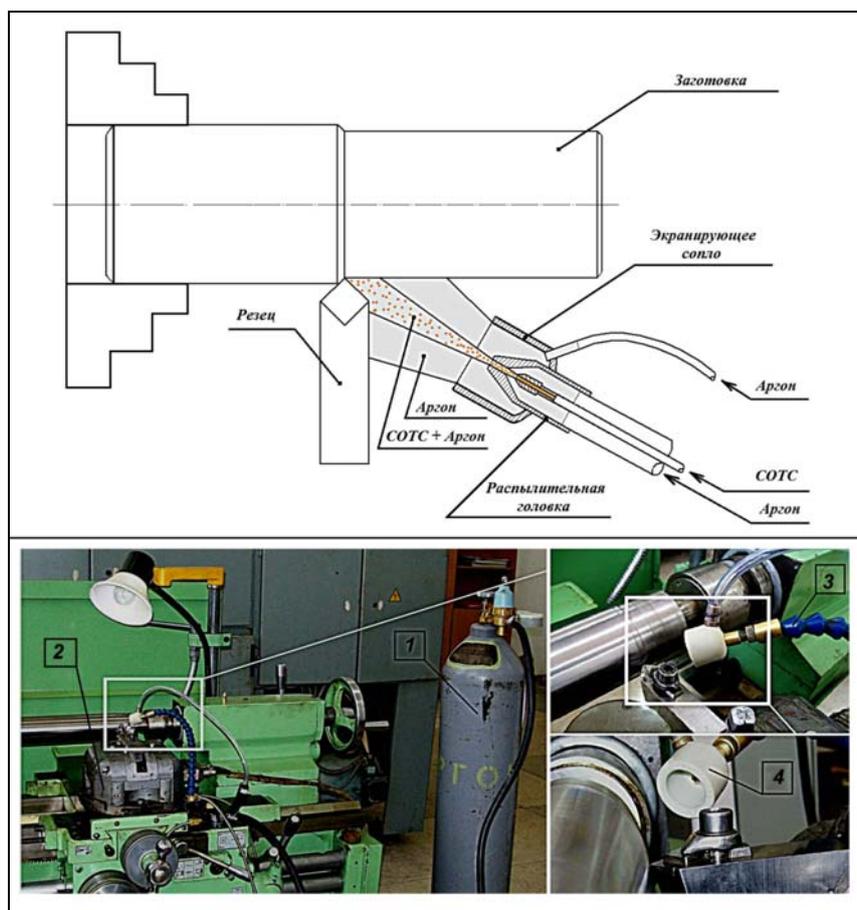


Рисунок 2 – Схема и установка для точения в среде аргона: 1 – аргон, 2 – динамометр УДМ-600, 3 – устройство минимизированной подачи СОТС, 4 – экранирующее сопло.

Использование растительных масел в среде инертного газа при резании объясняется необходимостью исследования влияния кислорода воздуха на их пластифицирующую способность. При этом нейтрализация действия кислорода достигается избыточным давлением в зоне резания инертного (защитного) газа. Использование АО в сочетании с растительными маслами также призвано локализовать хемосорбционные процессы происходящие в зоне резания, однако, за счет химического ингибирования действия кислорода. Присутствующий в зоне резания кислород «захватывается» и связывается АО благодаря их восстановительным свойствам.

Все жидкие СОТС подавались путем распыления в виде аэрозоли устройствами минимальной смазки MiniCool фирмы «NOGA» (Израиль). Для работы данных устройств необходимо давление газа. В случае подачи в зону резания подсолнечного и рапсового масел чистых и с АО в качестве газа использовался сжатый воздух получаемой при помощи компрессорной установки. Давление при этом соответствовало давлению сжатого воздуха в стандартных заводских пневмосетях – 0,4 МПа.

В качестве защитного инертного газа при исследованиях использовался аргон высокой чистоты (сорта - высший, ГОСТ 10157-73), с суммарным содержанием примесей –  $O_2$ ,  $N_2$ ,  $H_2O$  – не более 0,03%. Аргон практически не вступает в химические взаимодействия с нагретыми металлами и другими газами в зоне резания. Будучи на 38% тяжелее воздуха, аргон вытесняет его из зоны резания и надежно изолирует ее от контакта с атмосферой. Тем самым достигается практически полное исключение воздействия кислорода (и азота) воздуха и, как следствие, формирование оксидных пленок на поверхностях как инструментального, так и обрабатываемого металлов.

Аргон в газообразном состоянии подавался из стандартного (40 л) баллона под давлением 0,4 МПа и непосредственно соединялся с устройством подачи СОТС и специально сконструированным экранирующим соплом. Избыточное давление аргона 0,4 МПа в зоне резания соответствовало давлению сжатого воздуха при подаче СОТС при помощи компрессора, а также данная величина давления согласуется с давлением, нормируемым при аргонно-дуговой сварке обеспечивающей эффективную изоляцию зоны свариваемого шва.

Экранирующее сопло, выполненное из термостойкого пластика, обеспечивало создание, благодаря сконцентрированному потоку аргона, избыточное давление в зоне резания и тем самым полностью изолировала

как аргономаслянную смесь, направленную в зону резания, так и непосредственно зону резания.

Результаты измерения сил резания при обработке нержавеющей стали и титанового сплава в различных средах показаны на рис. 3 и 4.

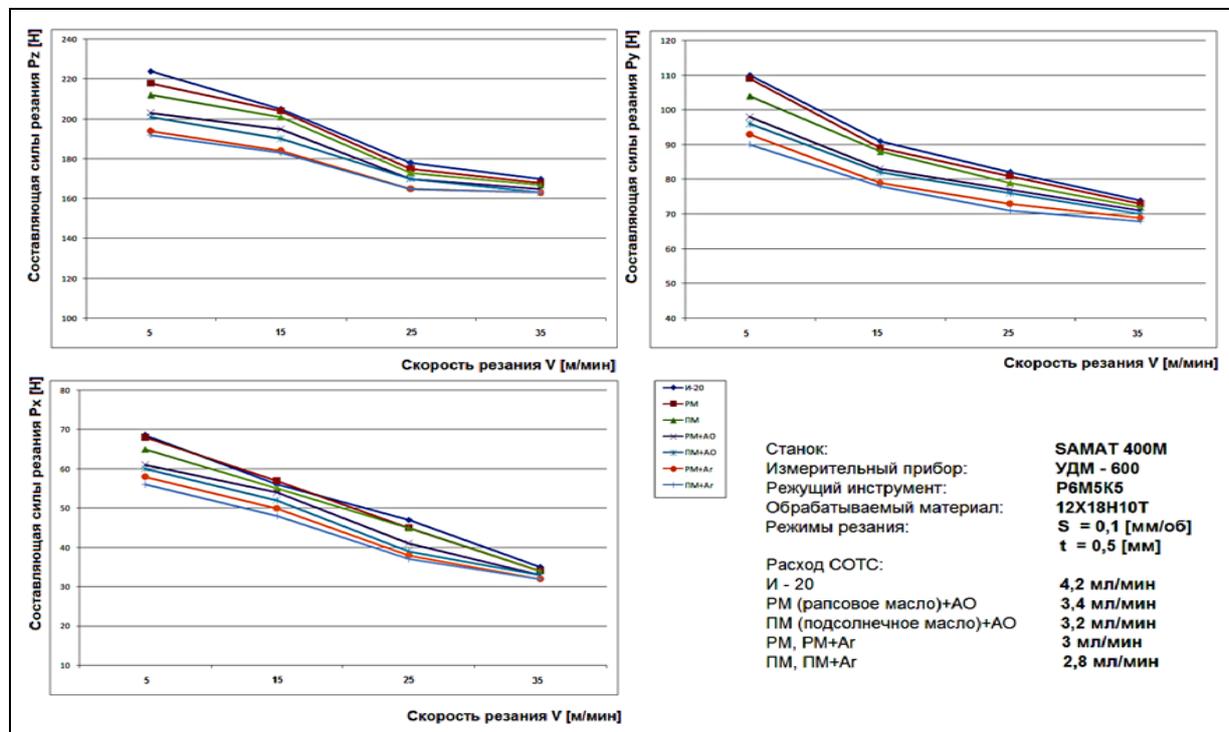


Рисунок 3 – Влияние скорости резания на составляющие силы резания в условиях подачи различных СОТС при обработке нержавеющей стали 12Х18Н10Т

Изменение всех составляющих силы резания, происходили в диапазоне 20%. Наибольшее изменение происходило с составляющими силы резания  $F_y$  и  $F_x$  при применении модифицированных растительных масел, а также при подачи их в среде аргона. Однако и в этом случае эффект оказывается зависимым от скорости резания, значимо проявляясь при ее относительно низких значениях. Силы резания при подаче СОТС+АО значительно (на 10...15%) снижаются и практически совпадают с усилиями возникающих при обработке в среде аргона. Эффект снижения силы резания при введении АО особенно значителен (до 20%) при использовании подсолнечного масла. Это свидетельствует об эффективной пассивации обрабатываемой поверхности АО. Обращает внимание, что при обработке нержавеющей стали наибольшее снижение сил резания наблюдается в среде подсолнечного масла, а при обработке титанового сплава в среде рапсового.

При использовании аргона оксидные пленки не появляются вследствие отсутствия кислорода воздуха, в случае применения антиоксидантов действие кислорода ингибируется химическим путем. Согласно данным полученным в работах [6, 7, 9] усиления адсорбционного понижения прочности в среде ПАВ возможно путем устранения оксидных пленок и непосредственного взаимодействия ПАВ с поверхностью металла. Именно с этой причиной связано общее снижение составляющих силы резания модифицированными СОТС. Сила  $P_z$  изменяясь незначительно, все же демонстрирует некоторые изменения в области малых скоростей по причинам, как повышения пластифицирующего действия ПАВ, так и снижение сил трения по задней поверхности инструмента. Изменении всех составляющих силы резания вызвано, прежде всего, повышением проникающей способности ПАВ, за счет усиление их адсорбционной активности при взаимодействии непосредственно с чистыми (без оксидных пленок) поверхностями заготовки и инструмента. Благодаря увеличению проникающей способности СОТС достигает на малых скоростях зоны резания, чем облегчает процессы диспергирование и пластическую деформацию. Также усиление адсорбции ПАВ приводит к созданию более прочных смазочных пленок на поверхностях трения, чем и снижает силы трения.

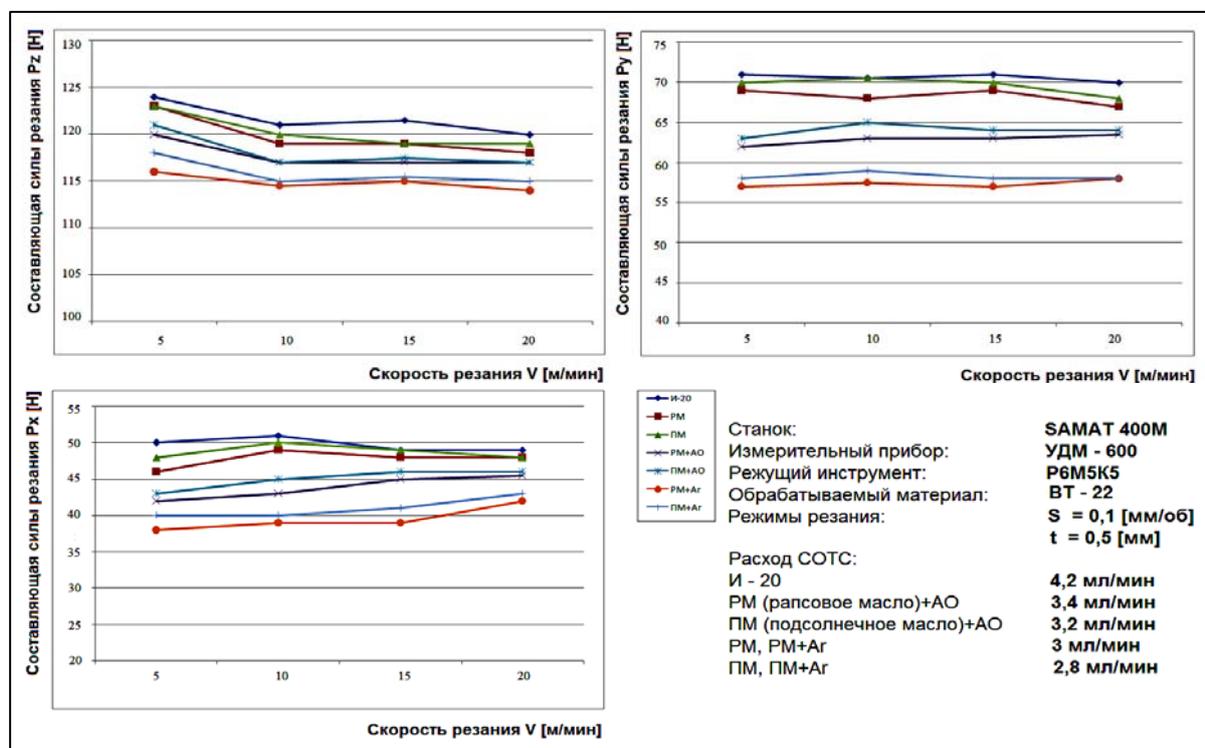


Рисунок 4 – Влияние скорости резания на составляющие силы резания в условиях подачи различных СОТС при обработке титанового сплава ВТ-22.

Таким образом, в результате проведенных исследований выявлено общее снижение составляющих силы резания при применении растительных масел в качестве СОТС. Однако наибольшее снижение наблюдается в среде модифицированных СОТС растительной природы и инертных газов. Данное обстоятельство открывает возможность использования АО для повышения функциональных свойств растительных масел используемых в качестве СОТС.

**Список использованных источников:** 1. *Якубов Ч.Ф.* Упрочняющее действие СОТС при обработке металлов резанием, Симферополь, 2008. 2. Рабочие процессы высоких технологий в машиностроении / под. ред. *А.И. Грабченко.* – Харьков, ХГТУ, 1999. - 436с. 3. *Binggeli M.* New ester based metalworking fluids / Einsatz in der spanenden Fertigungstechnik / University of Stuttgart, 2001. –С. 198-210. 4. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием: Справочник / Под ред. *Энтеллиса С.Г., Берлинера Э.М.* – М.: Машиностроение, 1986. - 352 с. 5. *Лихтман В.И., Щукин Е.Д., Ребиндер П.А.* Адсорбционные явления в процессах деформаций и разрушения металлов.— В сб.: «Физико-химическая механика металлов». М., Изд-во АН СССР, 1962. 6. *Костецкий Б.И., Никулин Г.В.* Роль кислорода при действии добавок поверхностно-активных веществ в процессах трения, смазки и износа металлов—ДАН СССР. Т. 181. 1968, № 2. 7. *Костецкий Б.И., Островой Ю.Д.* Влияние газовых сред на действие поверхностно-активных смазок при граничном трении. – В сб.: Трение, смазка и износ деталей машин». Вып. IV. Киев. Изд-во КИГВФ, 1964. 8. *Менумеров Э.Р.* О возможности повышения эксплуатационных характеристик СОТС на основе растительных масел / Менумеров Э.Р., Якубов Ч.Ф., Аметов И.Э. // Вестник Хмельницкого национального университета. Хмельницкий, 2006. – Вып. 6. - С. 44 - 48. 9. *Шульман П.А., Колесниченко Н.Ф., Костецкий Б.И.* Влияние добавок поверхностно-активных веществ на процесс алмазного шлифования. – «Синтетические алмазы». 1966, №1. – С. 24-28.