



Шейкин С. Е. /д. т. н./
Институт сверхтвердых материалов
им. В. Н. Бакуля НАН Украины



Пащенко Е.А. /д.т.н./
Институт сверхтвердых материалов
им. В. Н. Бакуля НАН Украины



Ростоцкий И.Ю.
Институт сверхтвердых материалов
им. В. Н. Бакуля НАН Украины



Гаврилова В.С.
Институт сверхтвердых материалов
им. В. Н. Бакуля НАН Украины



Процишин В.Т. /к.т.н./
ГП «УкрНИИ НП «МАСМА»

Технологические смазки для деформирующего протягивания деталей из титана

В статье представлены результаты разработки технологических смазок для деформирующего протягивания и волочения труб из титановых сплавов. Определены их триботехнические характеристики и граничные условия применения. Сформулированы технологические рекомендации для их использования. Ил. 11. Библиогр.: 5 назв.

Ключевые слова: смазка, титановый сплав, пластическое деформирование, удельная сила трения, схватывание

The results of process lubricant development for deforming broaching and tube drawing of titanium alloy are presented. Their tribotechnical characteristics and boundary conditions of their appliance are determined. Technological recommendations for their usage are formulated.

Keywords: lubricant, titanium alloy, plastic deformation, specific friction force, seizure

Введение

Деформирующее протягивание (рис. 1) – процесс обработки отверстий в деталях типа втулок и труб методом холодного ступенчатого пластического деформирования. Применением этого процесса достигается снижение трудоемкости обработки, повышение коэффициента использования металла, сопротивление усталостному разрушению, улучшение состояния поверхностного слоя, существенное снижение шероховатости обработанной поверхности.

Деформирующее протягивание можно отнести к той категории процессов холодного пластического деформирования, где имеет место контактное трение при высоких нормальных контактных напряжениях [1].

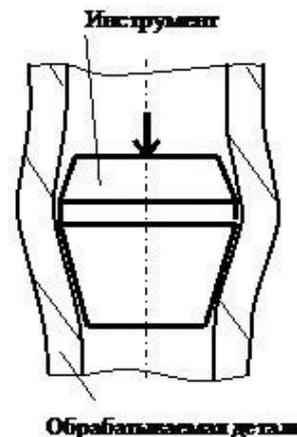


Рис. 1. Схема деформирующего протягивания

Стабильность протекания процесса деформирующего протягивания (отсутствие схватывания между инструментом и обрабатываемым материалом) обеспечивается применением технологических смазок, подбор которых должен осуществляться индивидуально для каждого сочетания инструментального и обрабатываемого материалов. Твердый сплав ВК 15 обладает наиболее благоприятным сочетанием механических и триботехнических свойств, обеспечивающих надежность его применения в качестве материала рабочих элементов деформирующих протяжек. При этом, при деформирующем протягивании деталей из конструкционных углеродистых сталей надежную работу инструмента обеспечивает использование жидких технологических смазок, традиционно применяемых в процессах обработки металлов давлением (сульфофрезол, смазки типа МР, на основе индустриального масла). Применение этих технологических смазок при обработке деталей из цветных металлов и сплавов (в том числе сплавов титана), как правило, невозможно вследствие схватывания обрабатываемого материала с инструментом [1]. В этих случаях (как выход из положения) могут быть применены твердые смазки с высокой экранирующей способностью. Например, для деформирующего протягивания заготовок из нержавеющей сталей применяют твердые смазки на основе дисульфида молибдена [2], для обработки титановых сплавов – йодистый кадмий. Как показали эксперименты, смазка на основе дисульфида молибдена при обработке титановых сплавов не эффективна – не может обеспечить обработку без схватывания. Применение же йодистого кадмия нежелательно вследствие его токсичности. При этом необходимо учитывать, что использование твердых смазок существенно усложняет технологию обработки, т. к. требует дополнительных операций по их нанесению и удалению после протягивания.

Наличие эффективных технологических смазок позволило бы применить процесс деформирующего протягивания (волочения) при изготовлении осесимметричных титановых деталей типа цилиндров и штоков, которые широко применяются в авиационной технике, и существенно снизить его трудоемкость.

В литературе имеются данные о технологических смазках, позволяющих осуществлять обработку титановых сплавов методами холодного пластического деформирования [3]. Указывается, что положительный эффект может быть достигнут при использовании смазки на основе продукта взаимодействия олеиновой кислоты и кристаллического йода.

Авторами [6] указано со ссылкой на зарубежные патенты, что при холодной обработке титана и его сплавов давлением используются композиции на основе высоковязких минеральных масел, смеси минеральных масел различной вязкости, растительных и животных жиров, высших жирных кислот и их производных.

Применяются также хлорированные минеральные масла, полимеризованные и осерненные растительные жиры, высокомолекулярные спирты и др.

Целью настоящего исследования является создание эффективных технологических смазок для обработки титановых сплавов методами холодного пластического деформирования и изучение их технологических возможностей.

Методы испытаний

Для исследования эксплуатационных характеристик технологических смазок в процессах ХПД разработано значительное количество методик [1, 3].

В наших исследованиях для предварительного изучения экранирующих свойств технологических смазок применена методика, состоящая в испытании технологических смазок по схеме выглаживания наружной поверхности цилиндрической заготовки, на которую нанесена испытываемая смазка [1] (рис. 2).

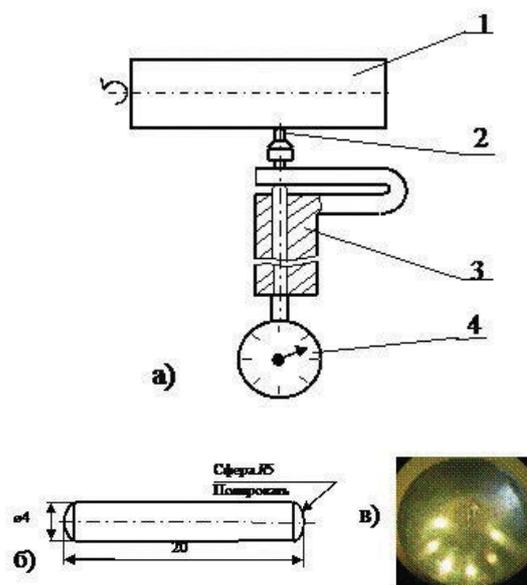


Рис. 2. Устройство для предварительного исследования экранирующих свойств технологических смазок: а) схема устройства; б) деформирующий инструмент; в) налип обработанного металла на рабочей поверхности инструмента, х 32

Достоинством данной методики является возможность быстрого получения результатов, а также возможность многократного использования заготовки. Однако данная методика позволяет лишь качественно судить о работоспособности испытываемых смазок и производить их ранжирование по экранирующим свойствам. Более точная оценка эксплуатационных характеристик технологических смазок производилась по методике, соответствующей реальному процессу деформирующего протягивания.

В испытаниях по первой методике использовали цилиндрическую заготовку $\varnothing 60$ мм, продольная подача инструмента составляла $S = 0,097$ мм/об, скорость вращения детали $n = 80$ об/мин. Силу P_y увеличивали ступенчато с шагом 50 Н

Для определения удельной силы трения исследуемой смазки использовалась методика, разработанная в ИСМ НАН Украины. Она заключалась в том, что необходимо параллельно обработать две идентичные по размерам и твердости втулки. Одну (эталонную) втулку из стали с твердой смазкой на основе дисульфида молибдена с известной силой трения, вторую – из титанового сплава с экспериментальной смазкой. В этом случае из условия равновесия сил, приложенных к деформирующему элементу (рис. 3):

$$F_1 = Q_1 \cdot \cos\alpha - P_1 \cdot \sin\alpha \quad (1)$$

$$F_2 = Q_2 \cdot \cos\alpha - P_2 \cdot \sin\alpha \quad (2)$$

где F_1, Q_1, P_1 – сила трения, осевая сила протягивания и радиальная сила соответственно при обработке со смазкой на основе дисульфида молибдена [2]; F_2, Q_2 и P_2 – сила трения, осевая сила протягивания и радиальная сила соответственно при обработке с испытываемой смазкой.

Из условия равенства радиальных сил $P_1 = P_2$ с учетом (1, 2) удельная сила трения:

$$F_1 = F_2 + (Q_2 - Q_1) \cdot \cos\alpha \quad (3)$$

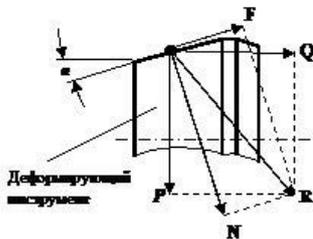


Рис. 3. Силы, действующие на инструмент при деформирующем протягивании

Результаты экспериментов и их обсуждение

Жидкие технологические смазки для деформирующего протягивания деталей из титановых сплавов

Основным требованием к смазке для обработки титановых сплавов является ее способность противостоять высоким давлениям без разрушения смазочной пленки. В наших исследованиях было испытано более 120 различных по составу смазочных композиций.

Они включали компоненты, обеспечивающие высокие смазочные и адгезионные свойства, вязкостные, антиокислительные и другие присадки.

Смазки готовились на основе углеводородных фракций с кинематической вязкостью при 20 °С – 1-10 мм²/с, содержали хлорпарафины от 10 до 50 % и фосфоросодержащие присадки типа трибутилфосфата. В качестве растворителей использовались дихлорэтан, хлороформ, перхлорэтилен и др.

В качестве загустителя использовали полиизобутилен различной молекулярной массы от 400 до 6000 ед.,

полипропиленгликоль с молекулярным весом 400-1500 ед., синтетические каучуки, высокомолекулярные углеводороды, продукты растительного происхождения. Концентрация загустителя в композициях смазок составляла от 5 до 20 %. Кроме того, в состав смазок вводились вещества, которые обеспечивали ей высокие адгезионные свойства по отношению к титановой поверхности: осерненные жиры, амидоэфирные смеси и др.

При этом использовали несколько способов нанесения смазок на поверхность титановых заготовок:

- наносили один слой смазки, выдерживали заданное время;
- наносили двойной слой смазки, т. е. использовали жидкую низковязкую смазку, а затем высоковязкую, содержащую те же компоненты и загуститель;
- наносили смазки на нагретую деталь;
- наносили нагретую смазку;
- предварительно подготавливали поверхность заготовки механическим путем (обеспечение необходимой шероховатости);
- предварительно подготавливали поверхность химическим путем для создания адгезионного слоя между смазкой и обрабатываемой поверхностью.

При нанесении одного слоя смазки с выдержкой заданного времени лучше других показал себя состав на основе таллового масла, частично омыленного гидроксидом калия с добавкой оксиэтиллированных высших жирных кислот, аминокалиевых мыл кислот растительных масел, сложных эфиров спиртов и аминоспиртов кислот растительных масел. Схватывание при испытаниях по первой методике наступило лишь при усилии прижима $P_y = 200$ Н. Однако при протягивании признаки схватывания на инструменте наблюдались уже после первого цикла деформирования при контактном давлении 0,8 ГПа. Учитывая уровень нормальных контактных напряжений, имеющих место в реальном процессе деформирующего протягивания, данная смазочная композиция не может быть рекомендована для обработки титановых сплавов.

В случае нанесения двойного слоя смазки наилучшие экранирующие свойства, при испытании по первой методике (схватывание при $P_y = 250$ Н), показала двухслойная смазочная композиция, когда на поверхность титана сначала наносили слой низковязкой смазки высокой поверхностной активности и проникающей способности (на основе метиловых эфиров жирных кислот растительных масел), содержащей около 30 % активных присадок (сульфитал, трибутилфосфат и др), задачей которой являлось создание промежуточной

прослойки между поверхностью титана и вторым слоем консистентной смазки содержащей высоковязкие углеводороды, эфиры высших жирных кислот и аминоспиртов, смешанные соли борной кислоты и канифоли. Однако испытания деформирующим протягиванием показали, что данная композиция также не обладает достаточной экранирующей способностью. Схватывание наблюдалось уже на 2-м цикле деформирования при контактном давлении 1,0 ГПа.

Для создания адгезионного слоя между смазкой и поверхностью детали применяли химическую подготовку поверхности титанового сплава окунанием (с подогревом и без) в водные растворы кислот (лимонной, муравьиной, щавелевой, соляной и др.), с добавками поверхностно-активных веществ (ПАВ), а также в высококонцентрированные щелочные растворы с активными добавками с последующим нанесением смазки. Лучшие результаты получились при использовании в качестве ПАВ состава RODEL R11.

С ПАВ было испытано более 60 составов. Лучше других показали образцы технологических смазок на основе углеводородных фракций, хлороформа, дихлорэтана, перхлорэтилена, также во всех составах использовались хлорпарафины в пропорции 10-50 % от общей массы смазки при использовании коллоидного графита в качестве наполнителя. В состав образцов смазки также вводили амидоэфирные смеси и осеренные жиры.

При испытании образцов смазки данного состава по схеме выглаживания, схватывания не наблюдалось при нагрузке $P_y = 300$ Н.

При испытании по схеме деформирующего протягивания при обработке втулок из ВТ1-0 с отверстием $\varnothing 19$ мм и стенкой 11 мм схватывания имело место на втором проходе при контактном давлении 1,5 ГПа. При толщине стенки 2 мм и контактном давлении 0,7 ГПа схватывание произошло на 8-м цикле. Необходимо, однако, отметить, что повторить полученный результат не удалось.

Таким образом, исследованные составы жидких смазок не могут быть рекомендованы к применению при обработке титановых сплавов методами ХПД, в которых имеет место контактное трение при высоких нормальных контактных напряжениях, однако полученные результаты могут быть полезными в дальнейших исследованиях.

Твердые технологические смазки на основе полимерных композитов для деформирующего протягивания деталей из титановых сплавов

При испытании по первой методике (рис. 2) состав смазки на основе диановой эпоксидной

смолы, модифицированной малеиновым ангидридом в соотношении 7:3 с коллоидным графитом, показал более высокие экранирующие свойства – схватывания не было обнаружено при нагрузке $P_y = 200$ Н. Вследствие этого его исследования были продолжены по второй, более точной методике. При испытаниях по схеме деформирующего протягивания использовали втулки из титанового сплава ВТ1-0 твердостью НВ = 160 с отверстием $\varnothing 35$ мм с различными толщинами стенок $t_0 = 4, 7, 9$ мм. Для сравнения протягивали также втулки из стали 20 тех же размеров и твердости. При этом на детали из стали 20 наносили твердую смазку на основе дисульфида молибдена [1] с известной удельной силой трения. На внутреннюю поверхность втулок из ВТ1-0 наносили состав 3.3. Натяг на каждый деформирующий элемент составлял 0,1 мм

На рис. 4, 5 приведены зависимости изменения контактных давлений и осевых сил протягивания соответственно в процессе эксперимента.

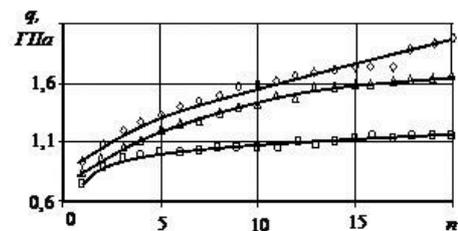


Рис. 4. Зависимость контактного давления от количества циклов деформирующего протягивания при обработке деталей из сплава ВТ1-0 и стали 20 $\varnothing 35$ мм: \diamond - $t = 9$ мм; Δ - $t = 7$ мм; \square - $t = 4$ мм

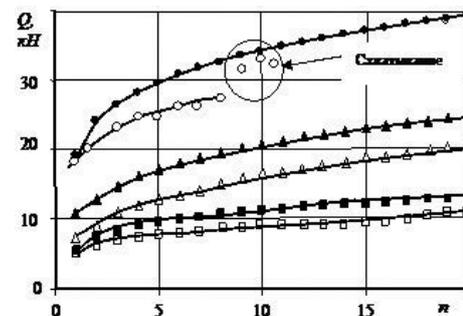


Рис. 5. Зависимость осевых сил от количества циклов деформирования при деформирующем протягивании деталей со стенками толщиной $t = 4, 7, 9$ мм: \bullet - Сталь 20, $t = 9$ мм; \diamond - ВТ1-0, $t = 9$ мм; \blacktriangle - Сталь 20, $t = 7$ мм; Δ - ВТ1-0, $t = 7$ мм; \blacksquare - Сталь 20, $t = 4$ мм; \square - ВТ1-0, $t = 4$ мм

Полученные результаты свидетельствуют о том, что испытываемая смазка обладает высокими экранирующими свойствами. Нарушение сплошности смазочного слоя и скачкообразное увеличение осевой силы протягивания наблюдалось только при протягивании детали со стенкой толщиной 9 мм, на 8-м цикле деформирования при контактном давлении $\sim 1,6$ ГПа (см. рис. 4).

Учитывая, что геометрические размеры и твердость стальных и титановых втулок одинаковы, то различия в значениях осевых сил объясняются

различием в силах трения, т. е. отличием триботехнических характеристик примененных смазок.

Как видно из приведенных графиков, при использовании разработанного состава осевая сила протягивания во всех случаях меньше, чем в случае применения твердой смазки на основе дисульфида молибдена, что говорит о высоких антифрикционных свойствах испытуемой смазки.

Результаты расчета удельной силы трения испытуемой смазки приведены на рис. 6. Видно, что значение удельной силы трения разработанной смазки значительно меньше, чем смазки на основе дисульфида молибдена.

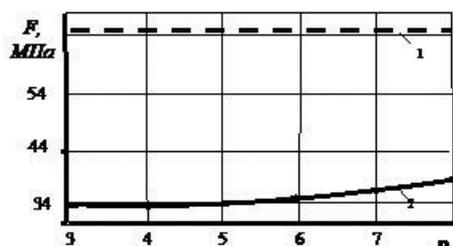


Рис. 6. Зависимость удельной силы трения от количества циклов деформирующего протягивания: 1 - значение удельной силы трения для дисульфида молибдена (MoS_2) $F = 65,3$ МПа; 2 - значение удельной силы трения испытуемой смазки $F = 39,8$ МПа

Возрастающий характер зависимости 2, приведенной на рис. 6, обусловлен накоплением необратимых структурных изменений в слое полимерного покрытия в условиях контактного взаимодействия инструмента с обрабатываемой деталью.

Из приведенных данных видно, что область применения разработанной смазки на основе эпоксидиановых смол ограничивается контактными давлениями 1,6 ГПа. Вследствие этого, для повышения ее экранирующей способности, увеличения когезионной прочности и прочности адгезии к титану смазка была модифицирована введением кремнийорганики и высокодисперсного углеродного наполнителя. Он имеет достаточно высокую твердость (0,22-0,25 ГПа), обладает высокой химической стойкостью и способностью обеспечивать смазочное действие в широком интервале температур.

В исследованиях модифицированной смазки протягивали втулки из титанового сплава ВТ1-0 с отверстием $\varnothing 35$ мм толщиной стенки 11 мм с натягом 0,1 мм. Удельную силу трения рассчитывали по методике, описанной выше.

Зависимости изменения осевых сил и контактного давления соответственно, имевших место в экспериментах, приведены на рис. 7 и 8. Значение удельной силы трения модифицированной смазки от количества циклов деформирования приведено на рис. 9. Там же пунктирной линией для сравнения показано значение удельной силы трения твердой смазки на основе дисульфида молибдена.

Во всем диапазоне контактного давления значение удельной силы трения модифицированной

смазки меньше, чем смазки на основе дисульфида молибдена, до значений контактного давления 2,2 ГПа.

Т. о., данная смазка имеет более высокие экранирующие свойства, чем смазка без наполнителей.

Технологическая смазка, модифицированная кремнийорганикой и высокодисперсным углеродным наполнителем была проверена при деформирующем протягивании втулок из титановых сплавов ВТ6 (НВ = 250) и ВТ22 (НВ = 285) диаметром 19 мм, со стенкой толщиной 11 мм с натягом 0,1 мм. Значения осевых сил и контактных давлений приведены на рис. 9 и рис. 10 соответственно. Видно, что данная смазка не теряет свою экранирующую способность при контактном давлении 2,8 ГПа и 3,1 ГПа (рис. 11), для ВТ6 и ВТ22 соответственно. При протягивании ВТ6 и ВТ22 признаков схватывания обнаружено не было. Однако при протягивании сплава ВТ22 на седьмом цикле деформирования появились небольшие царапины на инструменте.

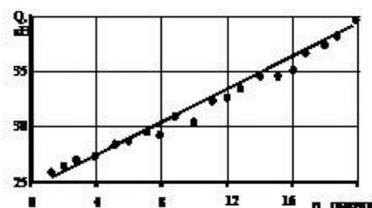


Рис. 7. Зависимость осевой силы от количества циклов обработки при деформирующем протягивании титанового сплава ВТ1-0 с применением модифицированной твердой смазки

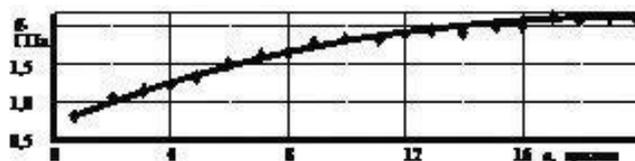


Рис. 8. Зависимость контактного давления от количества циклов деформирования

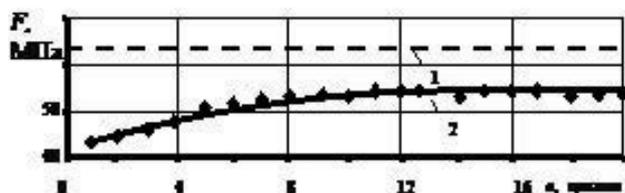


Рис. 9. Зависимость удельной силы трения от количества циклов деформирования: 1 - удельная сила трения для смазки на основе дисульфида молибдена (MoS_2) $F = 65,3$ МПа, 2 - удельная сила трения для разработанной смазки

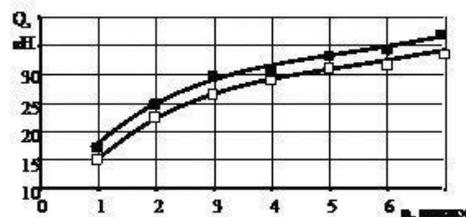


Рис. 10. Зависимость осевой силы от количества циклов при деформирующем протягивании титановых сплавов ВТ6 и ВТ22 с разработанной модифицированной твердой смазкой: ■ - ВТ22; □ - ВТ 6

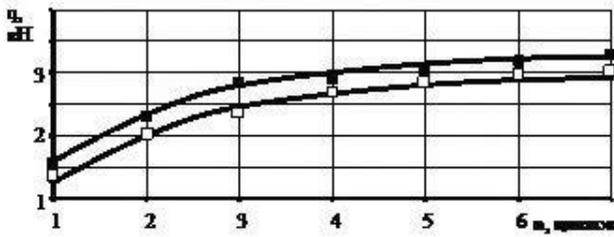


Рис. 11. Зависимость контактных давлений от количества циклов при деформирующем протягивании титановых сплавов VT6 и VT22 с разработанной модифицированной твердой смазкой: ■ – VT 22; □ – VT 6

Исходя из полученных результатов, можно сформулировать следующие технологические рекомендации по применению разработанных смазочных композиций.

Первая из исследованных твердых смазок (без кремнийорганики и высокодисперсного углеродного наполнителя) является более технологичной, и в случаях, когда контактное давление в зоне взаимодействия инструмента с титановой заготовкой не превышает 1,6 ГПа следует применять её. Технологическую смазку, модифицированную кремнийорганикой и высокодисперсным углеродным наполнителем следует применять при давлении более 1,6 ГПа.

Кроме того, необходимо учитывать, что нанесение и удаление твердой смазки до и после обработки являются дополнительными технологическими операциями, что неизбежно приведет к удорожанию изделия.

Т. о. их применение может диктоваться экономическими соображениями, например, в случаях, когда необходимо методом ХПД максимально приблизить размер заготовки к размеру готовой детали и свести к минимуму отход дорогостоящего материала в стружку.

Выводы

1. Исследованные составы жидких смазок на основе углеводородных фракций не могут быть рекомендованы к применению при обработке трубных деталей из титановых сплавов методами ХПД, в которых имеет место контактное трение при высоких нормальных контактных напряжениях, однако полученные результаты могут быть полезными в дальнейших исследованиях.

2. Разработанная технологическая смазка на основе полимерных композитов без наполнителя позволяет производить большое количество циклов деформирующего протягивание титановых деталей при контактных давлениях до 1,6 ГПа.

3. Введение в состав смазки наполнителей позволило существенно поднять ее экранирующие свойства и производить многоцикловое деформирующее протягивание деталей из титановых сплавов VT1-0 и VT22 при контактных давлениях до 2,2 ГПа и 3,1 ГПа соответственно.

4. Разработанные твердые смазки могут быть применены при обработке ХПД конструктивных титановых сплавов.

Библиографический список

1. Крицкий А. Д. Особенности разработки твердосплавных деформирующих протяжек для обработки отверстий в деталях из труднообрабатываемых деталей и сплавов: Автореферат диссертации кандидата технических наук. – Киев, 1983. – 26 с.
2. Пасечник М. С. Теоретические основы разработки смазок для обработки металлов давлением. Из книги: «Технологические смазки». Киев: УкрНИИНТИ, 1971, С. 5-16.
3. Грудев А. П., Зильберг Ю. В., Тилик В. Т. Трение и смазки при обработке металлов давлением. Справочник. – М.: Металлургия, 1982. – 310 с.
4. Чечулин Б. Б., Ушков С. С., Разуваева И. Н., Гольдфайн В. Н. Титановые сплавы в машиностроении. – Л.: Машиностроение, 1977 – 248 с.
5. Горынин И. В., Чечулин Б. Б. Титан в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1990. – 400 с.

Поступила 23.05.2014

АВТОРАМ!

Продажа авторских экземпляров журнала.

контактный телефон: 056-744-81-66

(факс): 0562-46-12-95