

УДК 621.919

Розенберг О.А., Пащенко Е.А., Шейкин С.Е., Ростоцкий И.Ю.

Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины. Украина, Киев

К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СМАЗОК ДЛЯ ДЕФОРМИРУЮЩЕГО ПРОТЯГИВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ СПЛАВА ВТ 1-0

Анотація

Стаття присвячена розробці твердого технологічного змащення для обробки деформуючим протягуванням деталей з титанового сплаву ВТ 1-0. Приведені результати дослідження експлуатаційних характеристик технологічних змащень з різними складовими. Зроблений вибір складу змащення, який забезпечує найкращі показники. Досліджено її екрануючі та антифрикційні властивості.

Abstract

The Article is devoted to design of hard technological grease for machining by deform-ing broaching details from titanium alloy ВТ 1-0. The Research of results of maintenance characteristics of techno-

logical greasing with different compositions are shown. Selection of grease composition with the best parameters is done. Research screening and antifriction property of this grease are investigated.

В металлообработке методы холодного пластического деформирования (ХПД) имеют ряд преимуществ в сравнении с методами, в основе которых лежит резание. Среди них высокая производительность, уменьшение отхода металла в стружку, повышение эксплуатационных характеристик обрабатываемой детали, уменьшение загрязнения окружающей среды и др.

Однако применение методов ХПД, при реализации которых имеет место глубокая пластическая деформация в условиях высоких

нормальных и касательных напряжений, при обработке деталей из титановых сплавов в настоящее время затруднительно. Причиной тому является повышенная склонность титановых сплавов к холодному свариванию с другими материалами. Данное явление представляет собой серьезную проблему, т. к. для его устранения требуется дополнительная обработка поверхности заготовки и применение соответствующих технологических смазок. Кроме того, титановые сплавы обладают низкими антифрикционными свойствами по отношению к инструментальным материалам. Это дает основание отнести их к разряду труднодеформируемых [1]. Вместе с тем в авиационной промышленности существует большая группа деталей (например, длинные пневмо- и гидроцилиндры, штоки и др.), где применение методов ХПД могло бы решить много технологических задач и дать значительный экономический эффект. На сегодня не созданы технологические среды, которые позволяют эффективно применять методы ХПД при обработке деталей из титановых сплавов в условиях высоких нормальных и касательных контактных напряжений.

Таким образом, разработка и создание технологических средств, которые дают возможность применить методы ХПД для обработки деталей из титановых сплавов, является актуальной задачей.

Исследования, проведенные ранее в ИСМ НАН Украины, показали, что в случае обработки методами ХПД материалов, которые имеют повышенную склонность к схватыванию с инструментальным материалом (например, нержавеющей и высоколегированных сталей) могут быть успешно применены твердые смазки. Для обработки таких материалов в ИСМ НАН Украины разработан ряд твердых смазок на основе дисульфида молибдена и графита, проведены исследования по выявлению предельных условий их применения. Однако при обработке титановых сплавов данные смазки показали низкие экранирующие свойства [2]. Аналогичный результат получен в [1]. Избежать схватывания при деформирующем протягивании деталей из титановых сплавов позволяет применение в качестве твердой смазки йодистого кадмия. Однако применению CdJ_2 в процессах ХПД препятствует его токсичность.

Целью настоящего исследования являлась разработка твердой технологической смазки, обладающей высокими антифрикционными и противозадирными свойствами в паре титановый сплав — деформирующий инструмент из сплава группы ВК в процессах холодного пластического деформирования.

Наиболее надежно было бы производить испытания образцов технологических смазок в условиях того производственного процесса, для которого они предназначаются. Однако это связано с целым рядом трудностей, что заставляет хотя бы для предварительных испытаний использовать упрощенные лабораторные методы [3].

Для исследования эксплуатационных характеристик технологических смазок в процессах ХПД разработано значительное количество методик [4, 5].

В наших исследованиях для предварительного изучения экранирующих свойств технологических смазок применена методика, состоящая в реализации схемы выглаживания наружной поверхности цилиндрической заготовки, на которую нанесена испытываемая смазка [6] (рис. 1). Заготовку (1) с нанесенной на нее испытываемой смазкой, устанавливали в патрон токарного станка. Деформирующий инструмент в виде стержня из твердого сплава ВК15 (2) со сферическими торцами (рис. 1, б), устанавливали в упругую державку (3) с индикатором (4) и прижимали к заготовке силой P_y . Инструмент перемещали вдоль образующей вращающейся заготовки. При этом силу P_y ступенчато увеличивали и обработку осуществляли по одному и тому же участку в одном направлении. Устройство предварительно тарировали. В процессе обработки шероховатость обрабатываемой поверхности уменьшается, при увеличении силы P_y повышается контактное давление. О наступлении схватывания судили по нарушению сплошности покрытия и увеличению шероховатости обработанной поверхности. При этом на рабочем торце стержня образовывался налип обрабатываемого металла (рис. 1, в). Экранирующие свойства смазки могут оцениваться по величине контактного давления, предшествующего схватыванию, либо по величине пути, пройденного образцом до схватывания.

Достоинством данной методики является возможность быстрого получения результатов, а также возможность многократного использования заготовки. Учитывая, что цена титановых сплавов непрерывно повышается, последний факт является немаловажным. Недостатком — невозможность точного определения контактного давления в процессе испытаний. Данная методика позволяет лишь качественно судить о работоспособности испытываемых смазок и производить их ранжирование по экранирующим свойствам.

Для более точной оценки эксплуатационных характеристик технологических смазок использовалась методика, соответствующая реальному процессу деформирующего протягивания. Через отверстие втулки с нанесенной на его поверхность смазкой пропускают ряд деформирующих элементов (рис. 2) [3]. Размер каждого последующего

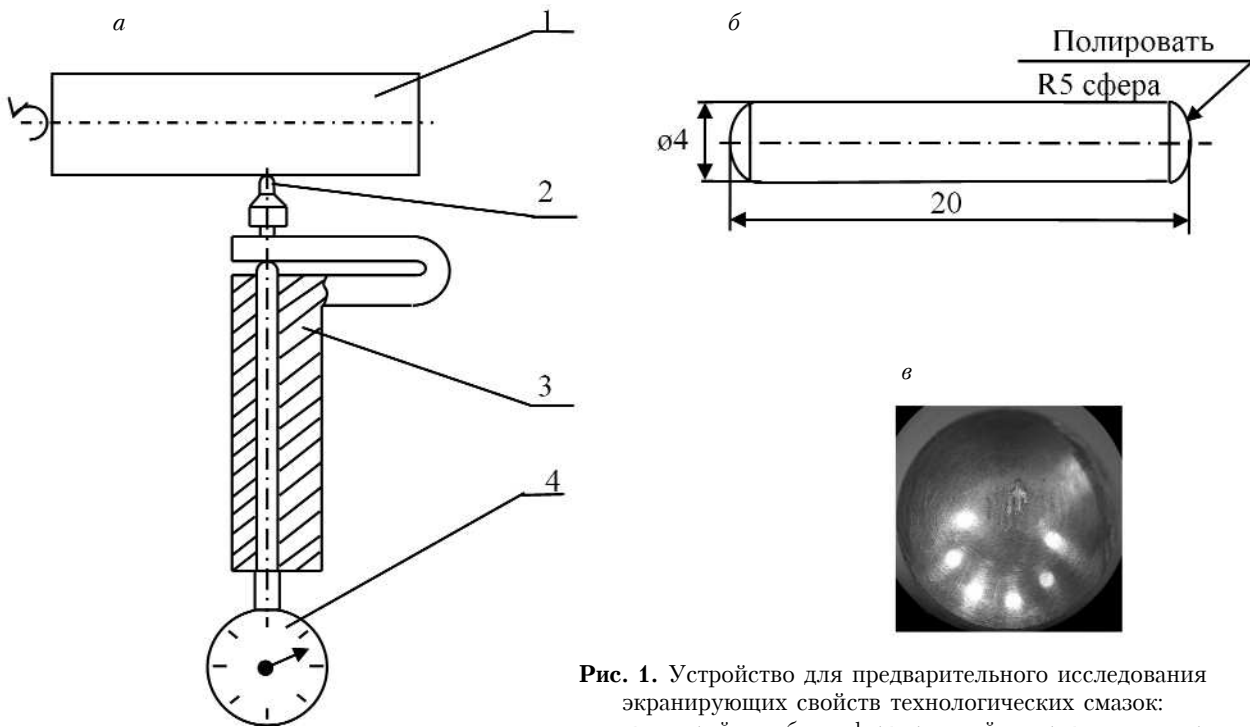


Рис. 1. Устройство для предварительного исследования экранирующих свойств технологических смазок:
a – схема устройства; *б* – деформирующий инструмент; *в* – торец стержня с налипом обрабатываемого материала

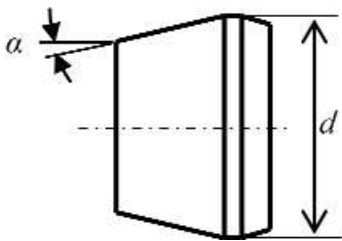


Рис. 2. Деформирующий элемент

элемента больше предыдущего на некоторую величину. При этом контактное давление повышается, а при использовании жидких смазок снижается шероховатость обработанной поверхности. В процессе испытаний производят замеры осевой силы. О схватывании судили по резкому ее увеличению, налипанию обрабатываемого материала на инструмент и нарушению сплошности поверхности покрытия. Контактное давление в момент, предшествующий схватыванию, а также количество пропущенных до схватывания деформирующих элементов могут характеризовать эксплуатационные характеристики технологической смазки. К преимуществам данной методики следует отнести ее высокую точность и информативность. К недостаткам – то, что втулку, на которой проводились исследования, как правило, использовать в дальнейшей работе не представляется возможным. Для реализации данной методики использовался специальный стенд, позволяющий осуществлять деформирующее прошивание с силой до 100 кН. Измерение осевой силы прошивания производилось тензо-

метрическим динамометром, подключенным через усилитель к персональному компьютеру.

При выборе компонентов технологической смазки необходимо учитывать специфические условия нагружения материала покрытия в условиях деформирующего протягивания. В частности, контактные давления в зоне взаимодействия инструмента с обрабатываемым изделием могут достигать $6-8\sigma_T$ обрабатываемого материала. При этом значение коэффициента трения по Кулону в реальном процессе могут колебаться в диапазоне $0,04-0,12$. Кроме того, перед зоной контакта образуется очаг локального пластического деформирования, который сам по себе является фактором, угрожающим целостности слоя технологической смазки [7]. Таким образом, разрабатываемая смазка должна иметь высокую прочность на сдвиг, достаточную эластичность, и, что особенно важно, высокую адгезию к поверхности титанового сплава. При этом необходимо учитывать, что поверхность титановых сплавов покрыта плотной, химически стойкой оксидной пленкой, состав и структура которой могут меняться в зависимости от состава сплава [1].

С учетом приведенных соображений по первой методике были испытаны три серии покрытий, причем при выборе компонентов помимо их физико-химических свойств учитывалась также доступность.

1. Основа – диановая эпоксидная смола, модифицированная (30% по массе) олигобутилен-

метрическим динамометром, подключенным через усилитель к персональному компьютеру. При выборе компонентов технологической смазки необходимо учитывать специфические условия нагружения материала покрытия в условиях деформирующего протягивания. В частности, контактные давления в зоне взаимодействия инструмента с обрабатываемым изделием могут достигать $6-8\sigma_T$ обрабатываемого материала. При этом значение коэффициента трения по Кулону в реальном процессе могут колебаться в диапазоне $0,04-0,12$. Кроме того, перед зоной контакта образуется очаг локального пластического деформирования, который сам по себе является фактором, угрожающим целостности слоя технологической смазки [7]. Таким образом, разрабатываемая смазка должна иметь высокую прочность на сдвиг, достаточную эластичность, и, что особенно важно, высокую адгезию к поверхности титанового сплава. При этом необходимо учитывать, что поверхность титановых сплавов покрыта плотной, химически стойкой оксидной пленкой, состав и структура которой могут меняться в зависимости от состава сплава [1]. С учетом приведенных соображений по первой методике были испытаны три серии покрытий, причем при выборе компонентов помимо их физико-химических свойств учитывалась также доступность.

гликольдипинатом. В качестве отвердителя использовался изометилтетрагидрофталевый ангидрид.

1.1 Основа 75% по массе, наполнитель (поли-триазин) 25%;

1.2 Основа 50% по массе, наполнитель (алюмо-силикатный минерал) 50%;

1.3 Основа 50% по массе, наполнитель (порошковая композиция на основе мочевиноформальдегидной смолы и алюмосиликатного минерала) 50%.

2. Основа эпоксифенольная смола.

2.1 Основа 85% по массе, наполнитель (АСМ 3/2) 15%;

2.2 Основа 65% по массе, наполнитель (АСМ 3/2) 15% и графит 15%;

2.3 Основа 65% по массе, наполнитель графит 15% и порошок олова 20%;

2.4 Основа 65% по массе, наполнитель дисульфид молибдена 15% и порошок олова 20%.

3. Основа — диановая эпоксидная смола, модифицированная малеиновым ангидридом.

3.1 Основа 80% по массе, наполнитель олеат меди 20%;

3.2 Основа 80% по массе, наполнитель стеарат кальция 20%;

3.3 Основа 70% по массе, наполнитель коллоидный графит 30%.

Применение данных составов находится в русле современных материаловедческих тенденций в области полимерных композитов триботехнического назначения, но основывается на использовании доступных отечественных компонентов [8, 9].

Подготовка поверхности заготовок из титановых сплавов осуществлялась путем термообработки на воздухе при температурах 250–280°C. По нашим данным при этом достигается увеличение толщины оксидной пленки на поверхности титана и его сплавов без нарушения ее сплошности, что способствует повышению адгезии полимерных покрытий на основе использованных нами полярных олигомерных систем.

Нанесение покрытий осуществляли с помощью кисти или мягкого валика. Для обеспечения равномерности нанесения применяли разбавитель. В данном случае в качестве разбавителя был выбран диметилформамид, поскольку он малотоксичен, хорошо совмещается с эпоксидными смолами и другими компонентами композиций и обладает малой летучестью при комнатной температуре. Термообработку нанесенных слоев покрытий осуществляли при 200°C в течении 30 минут с целью формирования пленок сетчатых эпоксидных полимеров, обладающих высокой износостойкостью и, в сочетании с другими компонентами композиций, хорошими антифрикционными свойствами.

В испытаниях по первой методике использовали цилиндрическую заготовку Ø60 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.

При испытании защитных свойств составов 1.1–1.3, 2.1–2.4, 3.1–3.2 во всех случаях было обнаружено отслоение материала покрытия от поверхности заготовки и схватывание инструмента с обрабатываемым материалом на первой ступени нагружения.

Состав 3.3 показал удовлетворительные защитные свойства при испытании по данной методике (схватывание не было обнаружено при нагрузке $P_y=200$ Н) и был принят в качестве исходного для экспериментального исследования по второй, более точной методике.

Предварительные эксперименты показали, что из имеющихся титановых сплавов сплав ВТ1-0 обладает наиболее высокой склонностью к схватыванию с инструментами их твердых сплавов группы ВК, вследствие чего он был выбран для экспериментов. Для исследований использовали втулки из сплава ВТ1-0 (НВ 160) с отверстием $d_0 = 35$ мм со стенками толщиной $t_0 = 4, 7, 9$ мм. Для сравнения параллельно были обработаны втулки из стали 20 (НВ 160) тех же размеров. При обработке деталей из стали 20 использовали твердую смазку на основе дисульфида молибдена [2]. Во всех случаях натяг составлял 0,1 мм.

Вследствие того, что при использовании твердых смазок непосредственный контакт инструмента с обрабатываемой поверхностью отсутствует [4], шероховатость в процессе эксперимента не контролировалась.

Результаты приведены на рис. 3. Учитывая то, что геометрические размеры стальных и титано-

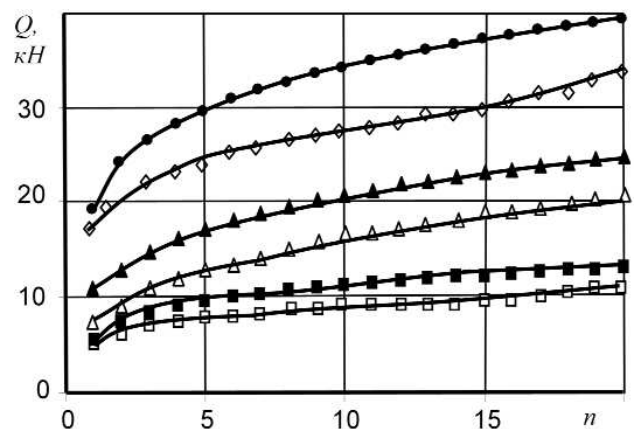


Рис. 3. Зависимость осевых сил от количества циклов деформирования при деформирующем протягивании деталей со стенками толщиной $t = 4, 7, 9$ мм:

● — Сталь 20, $t=9$ мм; ◇ — ВТ 1-0, $t=9$ мм; ▲ — Сталь 20, $t=7$ мм; △ — ВТ 1-0, $t=7$ мм; ■ — Сталь 20, $t=4$ мм;

□ — ВТ 1-0, $t=4$ мм

вых втулок были одинаковы, то отличия в значениях осевых сил при протягивании деталей из различных материалов, но одинаковой твердости с применением различных технологических смазок объясняются отличием сил трения. Как видно из приведенных графиков, при использовании состава 3.3 осевая сила протягивания во всех случаях меньше, чем в случае применения твердой смазки на основе дисульфида молибдена, что говорит о высоких антифрикционных свойствах испытываемой смазки. После 20-и циклов обработки схватывания выявлено не было. На рис. 4 приведены зависимости изменения контактных давлений в процессе эксперимента при обработке деталей из сплава ВТ 1-0 и стали 20. Полученные результаты свидетельствуют о том, что испытываемая смазка обладает высокими экранирующими свойствами.

Для определения удельной силы трения, исследуемой смазки использовалась методика, разработанная в ИСМ НАН Украины. В основе данной методики лежит положение, установленное в [2], заключающееся в том, что величина радиальной силы при деформирующем протягивании не зависит от условий, влияющих на трение на контактной поверхности, т. е. смазки, и вида инструментального материала. В этом случае из условия равновесия сил, приложенных к деформирующему элементу:

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

$$F_1 = Q_1 \cdot \cos \alpha - P_1 \cdot \sin \alpha, \quad (2)$$

где F_1 , Q_1 , P_1 — сила трения, осевая сила протягивания и радиальная сила соответственно при обработке со смазкой на основе дисульфида молибдена с известной удельной силой трения ($F_1 = 6,41$ МПа [2]); F_2 , Q_1 и P_1 — сила трения, осевая сила протягивания и радиальная сила при обработке с испытываемой смазкой.

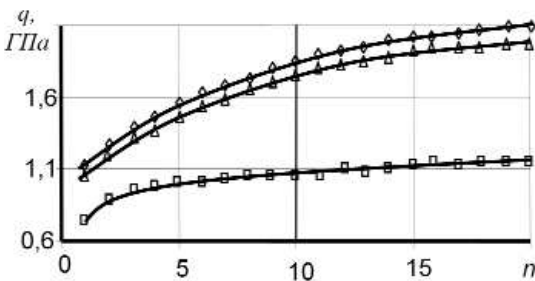


Рис. 4. Зависимость контактного давления от количества циклов деформирующего протягивания при обработке деталей из сплава ВТ 1-0 и стали 20:

◇ — $t = 9$ мм; △ — $t = 7$ мм; □ — $t = 4$ мм

Для экспериментов использовали втулки идентичных размеров ($d_0 = 35$ мм, $t = 7$ мм), из стали 20 (НВ 160) и сплава ВТ1-0 (НВ 160). Обработка производилась с натягом $a = 0,2$ мм.

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

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

Результаты расчета удельной силы трения испытываемой смазки приведены на рис. 5. Видно, что значения удельной силы трения разработанной смазки значительно меньше, чем смазки на основе дисульфида молибдена. Характер зависимости, приведенной на рис. 5, по-видимому, обусловлен накоплением необратимых структурных изменений в слое полимерного покрытия в условиях контактного взаимодействия инструмента с обрабатываемой деталью.

Выводы

1. Разработана технологическая смазка, позволяющая производить многоцикловое деформирующее протягивание деталей из сплава ВТ1-0 при контактных давлениях до 2 ГПа. Согласно результатам проведенных испытаний оптимальными свойствами в ряду полученных нами составов отверждающихся технологических смазок обладает состав на основе диановой эпоксидной смолы (ЭД-20, добавка 1% фенилглицидилового эфира для снижения внутренних напряжений при полимеризации) и малеинового ангидрида. Последний обеспечивает, с одной стороны, отверждение эпоксидной смолы с формированием трехмерной сетки с оптимальной плотностью шивки, а с другой — высокую адгезию к оксидному слою, покрывающему поверхность титановых сплавов. В качестве антифрикционного наполнителя был применен коллоидный графит.

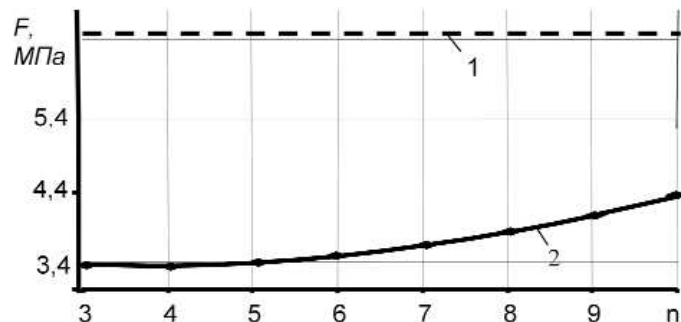


Рис. 5. Зависимость удельной силы трения от количества циклов деформирующего протягивания:

1 — значение удельной силы трения для дисульфида молибдена (MoS_2) $F=6,41$; 2 — значение удельной силы трения испытываемой смазки $F=3,9$



2. Разработанная технологическая смазка по своим антифрикционным свойствам превосходит твердую смазку на основе дисульфида молибдена.

Литература

1. Северденко В. П., Жилкин В. З. Основы теории и технологии волочения проволоки из титановых сплавов. Минск, "Нака и техника", 1970. — 204 с.
2. 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.
3. Новая комплексная методика испытания технологических смазок для обработки металлов давлением/ А. М. Розенберг, О. А. Розенберг, М. С. Пасечник и др. — Технологические смазки, 1971, вып. II. — С. 46–52.
4. Вейлер С. Я., Лихтман В. И. Действие смазок при обработке металлов давлением. — Москва, 1960. — 232 с.
5. Трачук С. В. Основные методы, применяемые для оценки эффективности волочильных смазок в лабораторных условиях. — Технологические смазки, 1971, вып. II. — С. 46–52.
6. А. с. 1070455 СССР. Способ определения экранирующих свойств технологических смазок/ О.А. Розенберг, А.М. Розенберг, Л.В. Лобанова. — Оpubл. 30.01.1984, Бюл. №4.
7. О. А. Розенберг. Механика взаимодействия инструмента с изделием при деформирующем протягивании. — Киев: Наук. думка, 1981. — 288 с.
8. Wang Z., Pinnavaia T. J. Hybrid organic-inorganic nanocomposites: // Chem. Mater. — 1998. — 10. P. 1820 — 1826.
9. Lan T., Pinnavaia T. J. Clay-reinforced epoxy nanocomposites // Chem. Mater. — 1994. — 6. — P. 2216–2219.