УДК 621.891

[1]*Е. В. Корбут, канд. техн. наук, доц.,*
[2]*В. Ф. Лабунец, канд. техн. наук*

ОСОБЕННОСТИ ИЗНАШИВАНИЯ ИНСТРУМЕНТА ПРИ ОБРАБОТКЕ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

[1]Национальний технический университет «КПИ»
[2] Национальный авиационный университет

Установлены основные виды изнашивания режущего инструмента при обработке титановых сплавов.

Общая постановка проблемы и ее связь с научно-практическими задачами. В промышленном производстве находят применение многие методы формообразования, а именно: а) литья; б) ковки; в) штамповки; г) обработки резанием; другие. Операции резания являются наиболее важными процессами машиностроительного производства и применяются почти при изготовлении любой продукции. Даже в том случае, когда процессы резания непосредственно не используются в данном производстве, они используются косвенно для изготовления технической оснастки. Несмотря на разработку новых методов обработки резанием, таких как, ультразвуковое резание, электроискровая и электротехническая обработка, химическое фрезерование, резание электронным и лазерным лучом, струей жидкости, методы обработки, основанные на отделении материала (в частности, со срезанием стружки) являются основными в формообразовании материала.

Следует отметить, что обработка металлов резанием известна уже более трех тысяч лет, однако механизм этого процесса изучен еще недостаточно. Особенно это касается таких труднообрабатываемых материалов как титановые сплавы.

Обзор публикаций и анализ нерешенных проблем. Титановые сплавы являются весьма перспективными конструкционными материалами. Уникальные свойства титановых сплавов открывают значительные возможности совершенствования технологических процессов, оборудования и изделий в самых разнообразных отраслях промышленности [1–3 и др.].

По сравнению с другими конструкционными материалами титановые сплавы обладают лучшим сочетанием высоких механических свойств, коррозионной стойкости и малого удельного веса. Основными преимуществами титана и его сплавов по сравнению с другими конструкционными материалами являются: высокая удельная прочность (т.е. прочность, отнесенную к удельному весу) и отличную коррозионную стойкость в самых суровых атмосферных условиях, а также в ряде сильных химических реагентов. В некоторых областях применения немаловажное значение имеют и другие свойства титана, например, немагнитность, высокая температура плавления, малый коэффициент термического расширения, биологическая инертность и т.д.

Титан и его сплавы находят применение в авиа- и ракетостроении, судо- и энергомашиностроении, нефтяной и химической промышленности, гидрометаллургическом производстве и др. Например, магистральный самолет Аэробус А350 на 10% по массе состоит из титана. Высоким содержанием титана отличается и транспортный самолет ИЛ-76 – 12 % его планера выполнено из высокопрочных титановых сплавов.

Однако титан и его сплавы обладают существенным недостатком – плохая обрабатываемость резанием. Особенно это относится к высокопрочным титановым сплавам как отечественного – ВТ22 и ВТ23, так и зарубежного Ti 10.2.3 и Ti 5.5.5.3 производства.

Непрерывное совершенствование титановых сплавов и применение их в больших масштабах, а также ужесточающие условия их эксплуатации требуют углублённого изучения их технологических свойств с целью научно-обоснованной интенсификации технологических процессов обработки. Совершенствование процессов обработки резанием титановых сплавов, являясь важнейшим фактором повышения производительности труда и снижения себестоимости изделий, предполагает исследования процессов трения и изнашивания, развивающихся на контактируемых поверхностях резца и обрабатываемого титанового сплава.

Цель работы исследование процессов изнашивания на рабочих поверхностях режущих инструментов (РИ) при обработке титановых сплавов.

Содержание и результат исследований. Инструмент при резании металлов и сплавов работает в очень тяжелых условиях контактного взаимодействия режущей кромки инструмента с обрабатываемой деталью. Экстремальные условия эксплуатации режущего инструмента отличаются высоким и постоянно возрастающим уровнем напряжений, скоростей относительного перемещений, температур, агрессивных сред при значительной неоднородности с одновременным их влиянием.

Процесс взаимодействия между инструментальным и обрабатываемым металлом существенно отличается от процесса трущихся поверхностей деталей машин и механизмов вследствие наличия высоких контактных давлений, больших удельных сил трения и деформации, а также высоких контактных температур. Поэтому процесс формообразования методом давления и резания представляет самостоятельную часть трибологии. В связи с этим важно установить механизм процесса изнашивания на контактных поверхностях режущего инструмента, выявить причины их разрушения, что даёт возможность наметить пути повышения работоспособности режущего инструмента.

Подавляющее число работ, проведённых в этом направлении посвящаются исследованию работоспособности РИ при обработке сплавов на основе железа, что касается обработки резанием титановых сплавов, то они единичны [4; 5]; в которых имеются отрывочные данные о стойкости режущего инструмента при обработке титанового сплава определенной марки, а механизм изнашивания не раскрывается.

Важную роль для исследования закономерности износа инструмента и характеристик качества поверхностного слоя имеет значение вопрос о контактных явлениях на поверхностях резца. Внешнее трение является одним из главных элементов процесса резания и в значительной степени определяет производительность, стойкость инструмента и качество обработанной поверхности, а следовательно, долговечность и работоспособность деталей, полученных обработкой резанием.

Между титановой стружкой и инструментом имеется очень небольшая контактная поверхность, вследствие чего в зоне резания возникают высокие удельные давления и температуры. А так как титан обладает низкой теплопроводностью, затрудняется отвод

тепла из зоны резания. В результате титан налипает на инструмент и инструмент быстро изнашивается. Приваривание и налипание титана на контактируемые поверхности РИ приводят к изменению геометрических параметров резца, что в свою очередь ведёт к резкому возрастанию сил резания и дальнейшему повышению температуры.

Для обработки титановых сплавов резанием в качестве инструментальных материалов используют твёрдые сплавы и быстрорежущие стали. При чистовом и получистовом непрерывном точении наилучшим материалом для РИ является твёрдый сплав ВК2. Меньшую стойкость (в убывающем порядке) имеют твёрдые сплавы ВК4, ВК6, ВК6М, ВК8 и др. Для увеличения стойкости резцов, оснащённых твёрдым сплавом, необходимо применять обильное охлаждение эмульсией стандартного состава [1].

Режущие инструменты небольшого размера, которые трудно оснастить твёрдосплавными пластинами, например сверла диаметром менее 5 мм, метчики и т.п. рекомендуется изготавливать из быстрорежущей стали Р9Ф5. При непрерывном резании стойкость инструментов, изготовленных из стали Р9Ф5, в два-три раза выше, чем стойкость инструмента из стали Р18.

Обработку титановых сплавов резцами из быстрорежущих сталей, которые следующие геометрические параметры рабочей части: задний угол $\alpha=10°$, главный угол в плане $\varphi_1=45°$, вспомогательный угол в плане $\varphi=15°$, радиус при вершине $r=1$ мм, скорость резания при точении сплава марки ВТ1-1 $v=25–30$ м/мин, подача $S\leq0{,}2$ мм, глубина резания $t=0{,}5–3$ мм [1].

Следует отметить, что титановые сплавы обрабатываются резанием значительно легче жаропрочных сплавов, но в сравнении с нержавеющими сталями хуже (рис. 1), а что касается стойкости и работоспособности РИ, то они изменяются в очень широких пределах как для различных марок титановых сплавов, так и в пределах одной марки данного сплава.

Трудности, возникающие при обработке титана и сплавов на его основе, обусловлены следующим: а) низкой теплопроводностью; б) повышенной химической активностью при температурах в контакте РИ обрабатываемая деталь начиная с 550°С. Кроме этих причин существует ещё одна причина, которая является

характерной именно для титановых сплавов. Сущность её заключается в следующем. Титан и его сплавы обрабатываются резанием твердосплавными пластинами из твёрдых сплавов, в составе которых находится титан. В связи с этим в процессе резания, когда в контакте возникают повышенные температуры, на рабочей поверхности РИ возникают очаги схватывания, что приводит к изменению геометрических параметров РИ и, как следствие, снижение его работоспособности, качества обработанной поверхности.

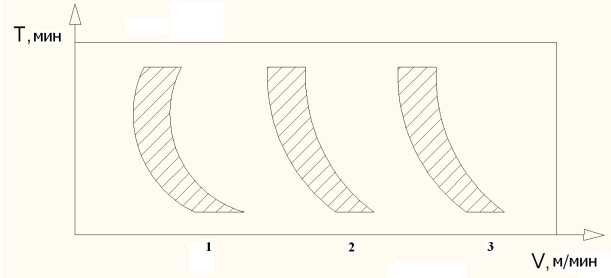

Рис. 1. Схема относительной обрабатываемости сплавов:
1 – жаропрочных; *2* – титановых *3* – нержавеющих

Причины низкой обрабатываемости сплавов на основе титана и невысокой стойкости и работоспособности РИ на сегодня окончательно не установлены.

Одной из причин является приваривание РИ к титановому сплаву, а в некоторых случаях происходит поверхностное упрочнение титановых сплавов, что способствует существенному затуплению РИ. Содержание углерода больше как 0,2 % способствует образованию карбиду титана, в связи с тем, что углерод растворяется в титановом сплаве только до 0,2 % и, если содержание углерода в титановом сплаве превосходит это число, то образуются твёрдые карбиды титана, которые действуют на режущую кромку инструмента как абразив и затупляют её.

Наибольшие трудности при обработке титановых сплавов резанием возникают при черновой обработке заготовок (штамповок, паковок, прутков), так как при этом удаляется поверхностный дефектный слой, состоящий из окалины и корки, образующихся в результате взаимодействия титана с кислородом и азотом воздуха, и, отличающихся весьма высокой твёрдостью и

альфированной структурой. В связи с эти перед точением или фрезированием окалину и корку предварительно удаляют специальной обработкой, что способствует увеличению стойкости РИ. Так, например, при обдувке заготовки песком до удаления окалины и травления в водном растворе, содержащим 16 % азотной и 5 % фтористоводородной кислот с подальшей промывкой в воде, стойкость резца с пластинкой из твёрдого сплава ВК8 увеличивается в 3 раза. Решающим условием обеспечения стойкости РИ является такое проведение обработки, при которой вершина режущего лезвия осуществляет резание только под коркой. Это достигается снятием фаски с торца заготовки перед началом точения и установлением достаточной глубины резания.

В процессе работы РИ происходит сложное взаимодействие инструмента и обрабатываемого материала, в результате которого инструмент изнашивается. В зависимости от физико-механических свойств обрабатываемого материала, геометрии и материала РИ, элементов режима резания (скорости резания, подачи, глубины резания) и смазочно-охлаждающей жидкости характер износа резцов может протекать по-разному.

Особенностью износа фрез при обработке титановых сплавов является образование лунки на передней поверхности у режущей кромки. Лунка опускается на заднюю поверхность, в связи с чем, фактический передний угол становится отрицательным.

Изнашивание свёрл происходит в результате трения задних поверхностей о поверхность резания, стружки о переднюю поверхность, направляющих ленточек об обработанную поверхность и смятия поперечной кромки.

Износ сверла по задней поверхности происходит неравномерно: у поперечной кромки износ меньше, чем у периферии. Наиболее опасным видом износа у свёрл является износ по уголкам, образуемым главными режущими кромками и ленточками. Эти места являются наиболее напряженными, так как скорость резания в этих местах сверла наибольшая, наибольшее здесь и выделение тепла, и соответственно наблюдается самый интенсивный износ.

Износ свёрл, оснащенных твёрдым сплавом, при сверлении титановых сплавов обычно происходит по задним поверхностях. Допустимая величина износа лежит в пределах 0,35–05 мм, что

необходимо принимать за критерии затупления. Время работы сверла до затупления – от переточки до переточки характеризует его стойкость, которая неразрывно связана с его износом и зависит от тех же факторов, что и износ.

При механической обработке титановых сплавов рекомендуется работать с малыми скоростями резания при больших подачах и глубинах резания, с обильной подачей охлаждающей жидкости [4].

Материал инструментов должен иметь высокую твердость и прочность, износостойкость, сопротивление механическим и термическим ударам, способности сохранять эти свойства в процессе резания. Он должен легко обрабатываться и не быть дефицитным. Высокая твёрдость обычно придаёт РИ хорошую износостойкость, однако, может быть связана из низкой прочностью и плохой сопротивляемостью ударным нагрузкам. Повышению износостойкости способствует также отсутствие химического сродства инструментального и обрабатываемого материалов.

В зависимости от материалов инструмента и обрабатываемой детали, их свойств, режимов резания на контактируемых поверхностях будут развиваться те или другие процессы трения и изнашивания, определяющие стойкость РИ. Важную роль в этих процессах играют деформационные механизмы, обусловленные тем, что контактные нагрузки на рабочих поверхностях инструмента создают сложное напряженное состояние, способствующее пластической деформации, а при определённых тепловых и силовых нагрузках является основной причиной развития процессов схватывания. Наступление схватывания соответствует переходу от умеренного изнашивания к интенсивному.

В случае разнородных материалов этот переход соответствует переходу от адгезионного взаимодействия контактируемых материалов к когезионному взаимодействию одного и того же материала при формировании заметной плёнки переноса. Типичная картина переноса материала при резании представлена на рис. 2.

При обработке титановых сплавов, которая проводится на высоких скоростях резания, когда температура контакта превышает 550–850°С возникает возможность развития процессов схватывания. При этом, как показали исследования химического

состава поверхностного слоя режущей кромки сверла, содержание титана в налипших частицах достигает 65 %. (рис. 3).

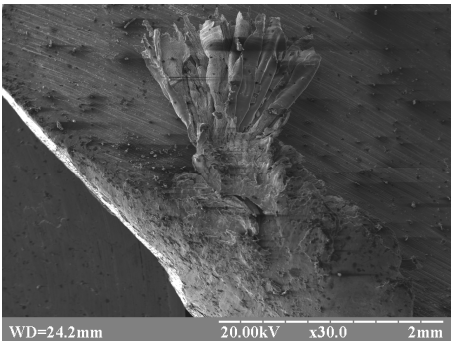

Рис.2. Налипание титана на режущую кромку сверла

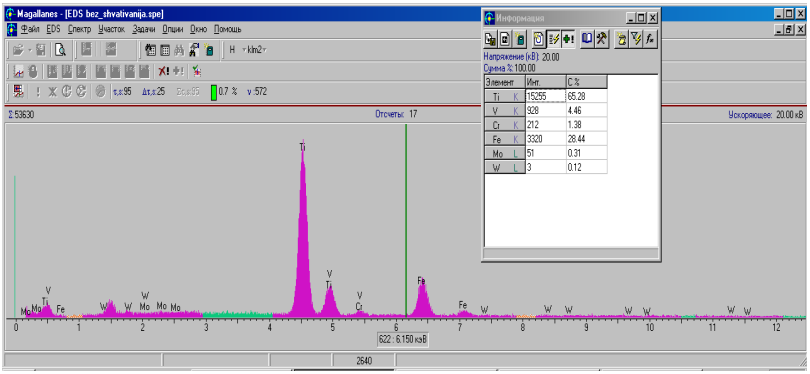

Рис. 3. Распределение химических элементов в местах переноса частиц обрабатываемого титанового сплава на режущую кромку сверла

При обработке титановых сплавов твердосплавным инструментом очаги схватывания могут приобретать форму полос, отдельных пятен или располагаться по всей рабочей поверхности инструмента в виде вырывов, пластически деформированных зон, налипших частиц титанового сплава.

При обработке титанового сплава резанием он взаимодействует с инструментальным материалом. Характер этого взаимодействия определяется условиями, в которых находятся контактируемые материалы, их структурного состояния и физико-механических свойств. Практически при всех возможных условиях

резания происходит износ на передней и задней поверхностях РИ. Интенсивность изнашивания рабочих поверхностей РИ определяет его работоспособность в данных условиях резания. Значение механизма изнашивания в различных условиях позволяет управлять процессом изнашивания.

Одним из весьма распространённых механизмов взаимодействия обрабатываемого и инструментального материала является усталостное изнашивание. Контактная усталость на режущей кромке инструмента характеризуется разрушением поверхностных слоев в результате возникающих контактных напряжений, приводящих к зарождению поверхностных и подповерхностных трещин, которые, в свою очередь, вызывают разрушение поверхностного слоя и появление частиц износа. Зарождение микро- и макроскопических трещин под действие контактных напряжений как непосредственно на поверхности, так и на некоторой глубине зависит от соотношения нормальных и тангенциальных напряжений в зоне контакта. Подповерхностная трещина постепенно развивается по направлению к поверхности и это приводит к отделению частиц износа; поверхностная трещина растёт в глубь материала, соединяется с соседними, что приводит к образованию продуктов изнашивания. Трещина, возникшая в процессе усталостного изнашивания инструментального материала представлена на рис. 4.

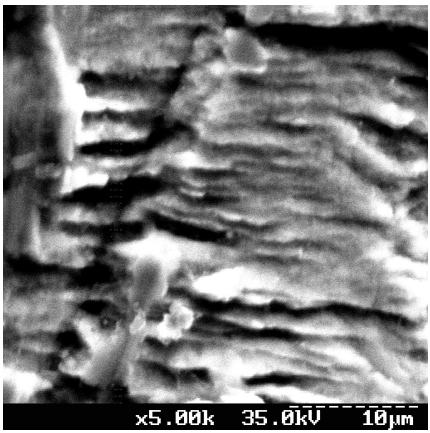

Рис. 4. Разрушение инструментального материала в зоне развития микротрещины

Ещё одним видом изнашивания, который встречается в триботехнической практике системы «режущий инструмент – обрабатываемый материал» является абразивный, в механизме которого свойства поверхности играют важную роль. Такая форма изнашивания реализуется в процессах механической обработки, а также при попадании в подвижное сопряжение твёрдых частиц загрязнения или продуктов разрушения.

Несмотря на то, что РИ обладает большей твёрдостью, чем обрабатываемый титановый сплав, однако, во-первых, продукты изнашивания также имеют высокую твёрдость, а, во-вторых, при обработке сплав упрочняется, а его частицы, отделившись от основного сплава выполняют роль абразива.

Особенностями обработки титана и его сплавов при резании является применение малых скоростей и образование толстой и вязкой ненавиющайся стружки; специализированных сплавов, обеспечивающих высокую производительность и скорость резания; специализированных обрабатывающих центров; специальных инструментов, например, концевые фрезы с большим числом многогранных режущих пластин, расположенных по винтовой линии в соответствии с винтовой стружечной канавкой.

Выводы. Таким образом, при работе сплавов на основе титана на рабочих повырностях РИ возникают процессы в зависимости от условий и режимов резания, усталостного, абразивного и окислительного изнашивания.

Список литературы

1. *Применение* титана в народном хозяйстве /С.Б.Глазунов, С.Ф.Важнин, Г.Д.Зюков-Батырев, Я.Л.Ратнер. – К.: Техника, 1975. – 200с.

2. *Титан* /В.А.Гармата, А.Н.Петрунько, Н.В.Галицкий и др. – М.: Металлургия, 1983. – 559с.

3. *Zelinski P.* Инструменты для обработки титана //Modern Machine Shop, 2009. – №9. – С.67–70.

4. *Кривоухов В.А.* Обработка резанием титановых сплавов /В.А.Кривоухов, А.Д.Чубаров. – М.: Машиностроение, 1970. – 183 с.

5. *Борисевич В.К.* Конструкционное материаловедение: учебное пособие /В.К.Борисевич, А.Ф.Виноградский, Н.И.Семишов. – Харьков: ГАИ «ХАИ», 1998. – 404 с.

Корбут Е.В., Лабунець В.Ф. **Особливості зношування інструменту при обробці титанових сплавів** / Проблеми тертя та зношування: наук.-техн. зб. – К.: НАУ, 2011. – Вип. 55. – С.83–93.

Встановлені основні види зношування різального інструменту при оброблені титанових сплавів.

Рис. 4, список літ.: 5 найм.

Korbut E.V., Labunec V.F. **Features of instrument wear at titanic alloys treatment**

The basic types of toolpiece wear at titanic alloys treatment are set.

Стаття надійшла до редакції 10.05.2011