

УДК 621.941.1

**УЧЕТ ГИДРОЛИТИЧЕСКОГО РАЗРУШЕНИЯ ПРИ  
ТОНКОЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКЕ СПЛАВОВ ИЗ ЦВЕТНЫХ  
МЕТАЛЛОВ**

**А.М. Арзуманян, А.О. Балтаян**

*Национальный политехнический университет Армении, Гюмрийский филиал*

Приведены результаты исследований износостойкости и температуры в рабочей зоне корундовых режущих пластин при тонколезвийной обработке цветных металлов и сплавов с учетом механизма гидролитического разрушения корунда под воздействием влажности окружающей среды. Совместное влияние температуры резания и фактора гидролитического разрушения в корне меняет механизм износа корундовых режущих пластин, особенно при холостом ходе режущей пластины, когда режущая часть инструмента находится в среде атмосферной влаги.

При тонколезвийной обработке цветных металлов и сплавов режущая пластина подвергается циклическим нагрузкам, особенно в начальном периоде, когда на режущем лезвии образуются следы выкрашивания, которые в дальнейшем совместно под воздействием механизма гидролитического разрушения становятся очагами разрушения. Поэтому рабочие поверхности режущей пластины должны быть высококачественными, без единых царапин и сколов, поскольку последние могут стать очагами разрушения и способствовать гидролитическому разрушению режущей части пластины. Циклические нагрузки являются причиной возникновения того или иного вида износа и, соответственно, в течение всего процесса обработки под действием атмосферной влаги интенсивно разрывают связи Al-O, что в конечном счете приводит к износу режущего инструмента. При использовании многолезвийного инструмента эффект механизма гидролитического разрушения замедляется, но не прекращается.

Во избежание гидролитического разрушения корундовых режущих пластин, особенно после выполнения процесса обработки, рекомендуется покрывать рабочие поверхности инструмента защитными пленками или хранить режущие пластины в сухих герметичных тарах.

**Ключевые слова:** корунд, износ, температура резания, гидролитическое разрушение, фреза, атмосферная влага.

**Введение.** Известно, что тепловые явления оказывают существенное влияние на работоспособность режущего инструмента и качество обработанных поверхностей. Экспериментальные методы определения температур при прерывистой обработке цветных металлов рубиновыми режущими пластинами с

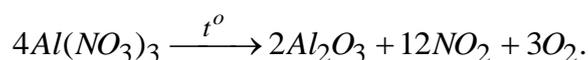
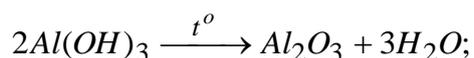
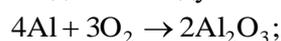
учетом диэлектрических способностей корунда - весьма трудоемкий процесс. Поэтому важное значение получают теоретические методы исследования, позволяющие рассчитывать уровень температур в любых точках тел, участвующих в теплообмене.

В работе определены температуры на вершине режущего лезвия в зависимости от режимов резания и других параметров обработки для установления тех диапазонов температуры резания и влажности окружающей среды, при которых корундовые режущие пластины подвергаются выкрашиванию.

*Анализ существующих работ по рассматриваемому вопросу.* Корунд представляет собой минерал из класса оксидов, соответствующий по химическому составу формуле  $Al_2O_3$ . Твердость по шкале Мосса – 9, истинная плотность  $3900...4100 \text{ кг/м}^3$ , огнеупорность колеблется в пределах от 1850 до 2030°C. Наиболее чистые разновидности корунда содержат 95...98%  $Al_2O_3$ .

Оксид алюминия широко используется в прикладных целях за счёт его высокой термической, механической и химической устойчивости. Корундовые материалы применяют в современной черной и цветной металлургии, химической, энергетической и других отраслях промышленности, в частности, для теплоизоляции и футеровки агрегатов, работающих при высоких температурах.

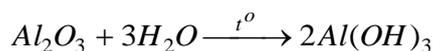
Оксид алюминия  $Al_2O_3$  практически получается непосредственным соединением алюминия с кислородом, а также разложением ряда кислородсодержащих веществ алюминия. Атмосферная коррозия лишенного защитной пленки алюминия происходит на воздухе:



Обычно оксид алюминия получается в виде белого аморфного порошка. Длительным прокаливанием его можно перевести в кристаллическую форму - корунд. В работах [1–3] описан процесс образования корунда ( $\alpha-Al_2O_3$ ) из гидраргиллита ( $\gamma-Al(OH)_3$ ) в атмосфере водного флюида (при  $t > 380^\circ C$ ), протекающий через стадию существования промежуточного продукта – бемита ( $\gamma-AlO(OH)$ ). Бемит, как фаза, устойчив до 380°C. При температурах выше последнего в условиях суперкритического водного флюида бемит превращается в корунд.

В литературе также встречается утверждение о факторе, ослабляющем прочность связи в корунде вследствие наличия адсорбированной воды на

поверхности кристалла. Неоднократно доказывалось, что при температурах, близких к комнатной, решающим фактором появления и развития трещин под нагрузкой является действие гидролитического механизма разрушения [4-9]. Этот механизм заключается в разрыве связей Al-O на поверхности под действием атмосферной влаги:



Вышеуказанная формула действительна при температуре резания 100...120°C и оптимальных режимах обработки. Так, прочность корунда в вакууме при 10°C превышает прочность во влажном воздухе на 32% [4]. Содержание паров воды сказывается на кинетике разрушения [5]. Аномальная микроползучесть корунда при комнатной температуре связывается с присутствием влаги на поверхности образцов [7]. Учитывая вышесказанное, можно с большой вероятностью считать, что причиной роста трещин и образования сколов после снятия нагрузки является действие остаточных растягивающих упругих напряжений в вершинах трещин, при этом необходимая пластическая деформация материала облегчена гидролитическим механизмом разрушения.

Было также показано, что в начале взаимодействия оксида с водяным паром гидроксильное состояние структуры доминирует [10]. С увеличением содержания гидроксильных групп в структуре скорость дегидроксилирования становится сравнимой со скоростью гидролиза, что приводит к квазиравновесию корунда с водяным паром. Разрушение и инициирование связей Me-O-Me и Me-OH в чередующихся актах гидролиза и дегидроксилирования определяют увеличение дефектов содержания и твёрдофазной подвижности матрицы корунда.

Сопоставляя вышеприведённые литературные данные, можно сделать вывод, что при наиболее высоких температурах (>350°C), при которых происходит превращение Al(OH)<sub>3</sub> в корунд, причиной деформации корундовых деталей является не гидролиз корунда, а структурные дефекты при обратном дегидроксилировании продуктов гидролиза.

В прикладных целях корундовые детали могут быть более долговечными, если их рабочая температура близка к 350°C. В данном случае нужно также учитывать сферу применения корунда.

Дальнейшее использование синтетического корунда в качестве режущего инструмента при тонколезвийной обработке цветных металлов и сплавов в обычных условиях, где доминирующим фактором являются влажность обрабатываемой среды (оптимальное значение относительной влажности воздуха для нормальной жизнедеятельности человека составляет 30...60%) и

температура резания, вызывает необходимость тщательного изучения тепловых явлений, связанных с этим процессом.

Из вышесказанного следует, что чем больше температура резания, тем меньше режущая пластина подвергается гидролитическому разрушению. Так как термостойкость корунда достигает 1700...1900 °С, то обработку можно производить при больших скоростях и подачах резания. Но при больших значениях режимов резания характер износа носит адгезионный характер, который не меняется до предельного значения износа по задней грани пластины. Это утверждение непосредственно связано с шероховатостью обработанной поверхности детали.

**Экспериментальная часть.** Режущий инструмент представляет собой торцевую однозубую фрезу, а в качестве обрабатываемого материала были взяты латунь ЛС 59-1 и дюралюминий Д16. Экспериментальное определение температуры резания проводилось методом естественной термпары. Расчетные формулы, а также коэффициенты, которые использовались для определения теплового баланса, были взяты из работы [11]. Установлено, что температура в конце холостого хода будет равна 82,8° С в начале следующего рабочего хода. Фактически после каждого холостого хода, то есть в начале следующего рабочего хода, нагретая полоска обрабатываемой заготовки успевает за счет теплопроводности передать определенную часть энергии соседней полоске. Исходя из этого, температуры резания соответственно в начале и в конце обработки будут различаться друг от друга примерно в 1,2 раза, что установлено экспериментом. Поэтому полученное расчетное значение температуры резания чуть занижено.

Связь между температурами рабочего и холостого ходов определяется по следующей зависимости:

$$\Theta_{хол} = \Theta_{раб} / \varepsilon^{0,174},$$

где  $\varepsilon$  – относительное снижение температуры, вызванное теплоотдачей в окружающий воздух.

Для определения температуры резания и сравнения ее с расчетными данными нами проведены серии экспериментов по факторному планированию типа 3<sup>3</sup>.

Математическая модель эксперимента ищется в следующем виде:

$$\Theta = C_{\theta} v^x s^y t^z. \quad (1)$$

В таблице приведены эти значения для обработки латуни ЛС59-1 и дюралюминия Д16 режущей пластинкой из лейкосапфира.

Таблица

Значения коэффициентов и показателей степеней в формуле (1)

Обрабатываемый материал	$C_\theta$	$x_1$	$x_2$	$x_3$
ЛС59-1 – БрАЖ 9-4	42,8	0,36	0,13	0,08
Д16 –Ал9	50,9	0,38	0,15	0,10

На рисунке приведены графики влияния  $v$ ,  $s$ ,  $t$  на температуру фрезерования. Анализ графиков показывает, что при оптимальных сочетаниях режимов резания (скорость резания -  $v=250$  м/мин, подача -  $s=0,022$  мм/об, глубина резания  $t=0,05$  мм) температура фрезерования  $\theta$  не превышает полученные расчетные значения. Повышенное значение температуры при обработке Д16 объясняется физико-механическими свойствами этого материала, а также режимами фрезерования.

Установление механизма износа корундовых режущих пластин является весьма практической задачей. В настоящее время нет четкого мнения о механизме износа режущих пластин, а имеющиеся данные противоречивы. Доказано, что рубиновые резцы подвергаются как микровыкрашиванию, так и диффузионному износу. Адгезионный вид износа корунда при тонком торцевом фрезеровании цветных металлов и сплавов подтверждается ранее проведенными опытами.

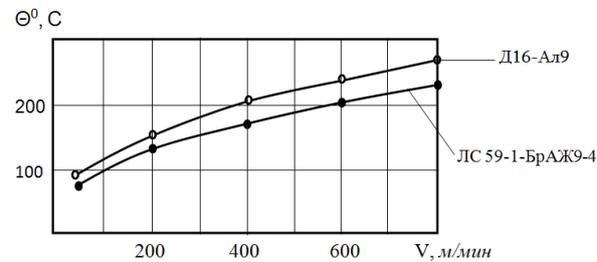
Процесс тонкого торцевого фрезерования характеризуется условиями, способствующими адгезионному износу, т.е. большими удельными давлениями и образованием в контакте с корундом новых совершенно чистых поверхностей цветных сплавов, свободных от адсорбированных пленок, которые обычно присутствуют на поверхностях металлов [11,12].

Отрывание частиц корунда объясняется тем, что при скольжении одной поверхности по другой происходит непрерывный процесс возникновения и срыва адгезионных пятен. Так как корунд является анизотропным телом с мозаичным строением и следами пластических деформаций, а также другими дефектами кристалла, то в процессе трения возникает вероятность отрыва и срыва частиц из контактных поверхностей режущей пластины.

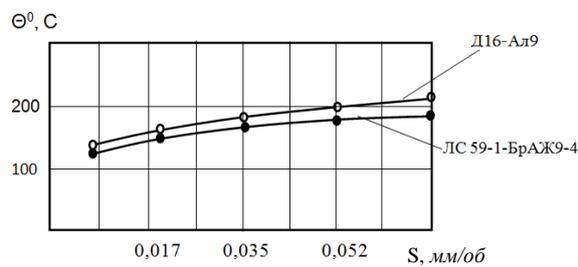
При обработке дюралюминия Д16 иногда наблюдается вырывание частиц синтетического корунда в точке отрыва стружки от передней поверхности. Это явление связано со схватыванием “абсолютно” чистых поверхностей контакта стружки и передней поверхности корундовой режущей пластины после первого отрыва частиц с передней поверхности.

Следует отметить, что в нашем случае возрастает интенсивность схватывания алюминиевых сплавов и корунда в точке отрыва стружки. После первого отрыва частиц корунда с передней поверхности режущей пластины и

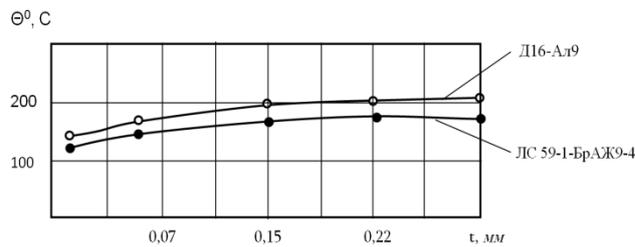
продолжения процесса резания дальнейшее вырывание частиц захватывает новые области, перемещаясь от точки отрыва стружки до режущей кромки.



а)



б)



в)

Рис. Зависимость температуры резания от режимов фрезерования: а - скорость резания –  $v = 250$  м/мин, б - подача –  $S = 0,022$  мм/об, в - глубина резания –  $t = 0,05$  мм

При обработке дюралюминия Д16 схватывание стружки и корунда в сильной степени связано с режимами резания. Наблюдаются увеличения интенсивности срывания частиц корунда при росте подачи от  $s = 0,042$  до  $0,094$  мм/об и глубины резания  $t = 0,15$  до  $0,25$  мм и при скорости резания  $v = 180$  до  $80$  м/мин.

Кроме адгезионного износа, при тонком торцевом фрезеровании дюралюминия Д16 наблюдается выкрашивание резцов при увеличении скорости резания, особенно при обработке алюминиевого сплава Ал9 и бронзы БрОЦС 5-5-5. Режущие пластины из синтетического корунда иногда подвергаются скалыванию при более низкой подаче, чем предельная, что объясняется

наличием разнообразных макроскопических и микроскопических дефектов кристаллов корунда и связанных с ними остаточных напряжений [12].

Проведенные наблюдения по образованию сколов позволяют высказать соображение, касающееся абразивной обработки корунда алмазными материалами и инструментами (пастами, порошками). На поверхность корунда наносятся царапины, которые сопровождаются трещинами и сколами. И естественно считать, что так же, как и при индентировании, образование сколов с отделением частиц корунда вблизи царапин является длительным процессом, т.е. окончательный микрорельеф поверхности корунда устанавливается через определенное время после прекращения ее механической обработки. Для царапин глубиной 2 мкм это время составляет примерно один месяц [13].

Сравнивая результаты опытов вышеуказанных авторов с нашими исследованиями, можем резюмировать, что в них есть интересное сходство.

При тонколезвийной обработке цветных металлов и сплавов режущая пластина подвергается циклическим нагрузкам, особенно в начальном периоде, когда на режущем лезвии образуются следы выкрашивания, которые в дальнейшем становятся очагами разрушения совместно с воздействием гидролитического механизма разрушения. Поэтому рабочие поверхности режущей пластины должны быть высококачественными, без единых царапин и сколов, поскольку последние могут стать очагами разрушения и способствовать гидролитическому разрушению режущей части пластины, которая при циклических нагрузках подвергается тому или иному виду износа и дает возможность в течение всего процесса обработки под действием атмосферной влаги интенсивно разрывать связи Al-O, что в конечном счете приводит к износу режущего инструмента. Явление гидролитического механизма разрушения в основном интенсивно происходит при холостом ходе фрезы, когда режущая часть инструмента находится в среде атмосферной влаги. При использовании многолезвийного инструмента данный эффект замедляется, но не прекращается.

Процесс разрушения режущих пластин продолжается и после обработки, если не предпринять добавочных мероприятий по защите рабочих поверхностей защитными пленками (вазелин и другие подобные вещества) или хранить режущие пластины после обработки в сухих герметичных тарах.

Контрольные испытания, проведенные для подтверждения данного эффекта, показали, что те режущие пластины, которые были защищены пленками, оказались более износостойкими, чем пластины без этих пленок. Разница составила 10...15% [14].

**Выводы.** Температура фрезерования при тонколезвийной обработке латуни ЛС59-1 не превышает 130...150 °С, а для Д16 – 140...170 °С в интервале скоростей рациональных режимов резания и способствует разрушению режущего лезвия. При наличии атмосферной влаги процесс износа и разрушения

режущего лезвия пластины усиливается еще и за счет гидролитического механизма.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Государственного комитета по науке МОН РА в рамках научного проекта № SH15-006.*

#### Литература

1. **Voroshilov I.L.** // HighPressureResearch. -2001. -20. -P. 229.
2. **Данчевская М.Н., Овчинникова О.Г., Ивакин Ю.Д., Муравьева Г.П.** //ЖФХ. -2000. -74.- С. 1391.
3. **Данчевская М.Н., Ивакин Ю.Д., Зуй А.И., Муравьева Г.П.** // Вестник Московского университета. Сер.2. Химия.- 2001.- 42.- С. 258.
4. **Стокс Р.Дж.** Разрушение. -М.: Мир, 1976. Т.7, ч. 1.- С. 129.
5. **Chen C.P., Knapp W.J.**// J. Am. Ceram. Soc. -1977. -Vol. 60, N 1/2. -P. 87.
6. **Шпейзман В.В., Вовнобой В.Б., Козачук А.И.** // Физ.-хим. обработка материалов.- 1982.-N 3.- С. 113-117.
7. **Westbrook J.H., Jorgensen P.J.**// Trans. AIME.-1965.-Vol. 233, N 2.- P. 425-428.
8. **Берштейн В.А.** Механогидролитические процессы и прочность твердых тел.- Л.: Наука, 1987. - 318 с.
9. **Иванцов В.А., Николаев В.И., Чуднова Р.С., Шпейзман В.В.**// Изв. РАН. Сер. Физ. -1994.- Т. 58, N 9.- С. 63-67.
10. **Ivakin Yu. D., Danchevskaya M.N., Torbin S.N., Kreisberg V.A., Martynova L.F.** // Proceeding of the 7th Meeting on Supercritical Fluids Particles Design, Materials and Natural Products Processing.- Antibes, France, 2000. -Vol. 1.- P. 525.
11. **Арзуманян А.М.** Результаты теоретических исследований тепловых явлений в процессах прерывистой обработки // Периодический научный журнал “Хандзта”.- Кутаиси, Тбилиси, 2011. - №4 (9).-С.25-36.
12. **Арзуманян А.М., Хачатрян Г.Г.** Анализ износа режущих инструментов из синтетического корунда //Изв. НАН РА и ГИУА. Серия Техн.наук. -1998. -Том LI, №3. -С. 272-276.
13. **Носов Ю.Г., Деркаченко Л.И.** Последствие при испытании корунда на микротвердость // Журнал технической физики. – СПб.: Наука, 2003. - Том 73, вып.10.- С. 139-142.
14. **Арзуманян А.М.** Механизм износа корундовых режущих пластин при тонколезвийной обработке цветных сплавов // East European Scientific Journal.- Warsaw, Poland, 2016.- №12(16), vol.1.- P.76-80.

*Поступила в редакцию 02.02.2017.  
Принята к опубликованию 14.06.2017.*

**ՀԻՂՐՈՒԽՏԻԿ ՔԱՅՔԱՅՄԱՆ ՀԱՇՎԱՌՈՒՄԸ ԳՈՒՆԱՎՈՐ ՄԵՏԱՂՆԵՐԻ և  
ՀԱՄԱՁՈՒԼՎԱԾՔՆԵՐԻ ՆՐԲԱՍԱՅՐ ՄՇԱԿՄԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ**

**Ա.Մ. Արզումանյան, Ա.Հ. Բալթայան**

Ներկայացված են կորունդե կտրող թիթեղիկներով գունավոր մետաղների և համաձուլվածքների մաշակայունության և աշխատանքային գոտում ջերմաստիճանի հետազոտման արդյունքները՝ հաշվի առնելով շրջակա միջավայրի խոնավության ազդեցությամբ կորունդի քայքայման մեխանիզմը: Ջերմաստիճանի և հիդրոլիտիկ քայքայման համատեղ ազդեցությունը արմատապես փոխում է կորունդե կտրող գործիքների մաշման մեխանիզմը, հատկապես կտրող թիթեղիկի պարապ ընթացքի ժամանակ, երբ գործիքի աշխատող մասը գտնվում է խոնավ միջավայրում:

Գունավոր մետաղների և համաձուլվածքների նրբասայր մշակման դեպքում կտրող թիթեղիկը ենթարկվում է ցիկլային բեռնվածքների հատկապես սկզբնական շրջանում, և կտրող սայրի վրա առաջանում են փշրամաշման հետքեր, որոնք հետագայում հիդրոլիտիկ քայքայման մեխանիզմի ազդեցությանը զուգահեռ համատեղ դառնում են քայքայման օջախներ:

Դրա համար անհրաժեշտ է, որ կտրող թիթեղիկի աշխատանքային մակերևույթները լինեն բարձրորակ՝ առանց խազերի և փշրվածքների, որոնք հանդիսանում են քայքայման օջախներ և նպաստում կտրիչի կտրող մասի հիդրոլիտիկ քայքայմանը: Ցիկլային բեռնվածքները մթնոլորտային խոնավության ազդեցությամբ այս կամ այն տեսակի մաշման պատճառ են դառնում և մշակման ամբողջ գործընթացում ուժգնորեն խզում են AI-O կապերը, ինչը վերջին հաշվով հանգեցնում է գործիքի մաշմանը: Բազմատամ գործիքի կիրառման դեպքում հիդրոլիտիկ քայքայման երևույթը դանդաղում է, սակայն չի ընդհատվում:

Հիդրոլիտիկ քայքայումից խուսափելու համար, հատկապես մշակման ավարտից հետո, խորհուրդ է տրվում գործիքի աշխատանքային մակերեսները ծածկել պաշտպանիչ թաղանթով կամ կտրող թիթեղիկները պահպանել չոր և հերմետիկ տարաներում:

**Առանցքային բառեր.** կորունդ, մաշում, կտրման ջերմաստիճան, հիդրոլիտիկ քայքայում, ֆրեզ, մթնոլորտային խոնավություն:

## CONSIDERING THE HYDROLITIC DESTRUCTION AT FINE - BLADE PROCESSING OF ALLOYS OF NON-FERROUS METALS

A.M. Arzumanyan, A.H. Baltayan

The results of studies on the wear resistance and temperature in the working zone of corundum cutting inserts at fine blade processing of non-ferrous metals and alloys are given, taking into account the mechanism of hydrolytic destruction of corundum under the influence of ambient humidity. The combined influence of the cutting temperature and the hydrolytic fracture factor radically changes the wear mechanism of corundum cutting inserts, especially when the cutting plate is idling, when the cutting part of the tool is in an atmospheric moisture environment.

At fine-blade processing of non-ferrous metals and alloys, the cutting insert undergoes cyclic loads, especially in the initial period, when traces of discolouration are formed on the cutting blade, which later become foci of destruction.

Therefore, the working surfaces of the cutting insert must be of high quality, without unified scratches and chips, which can become foci of destruction and promote the hydrolytic destruction of the cutting part of the plate. Cyclic loads cause a certain type of wear, and during the entire cutting process, under the influence of atmospheric moisture, destroy the Al-O bonds intensively, which ultimately leads to the wear of the cutting tool. When using a multi-blade tool, the effect of the hydrolytic fracture mechanism slows down but does not stop.

In order to avoid hydrolytic destruction of corundum cutting inserts, it is recommended to cover the working surfaces of the tool with protective films or to store the cutting inserts in dry sealed containers, after the processing has been completed.

**Keywords:** corundum, wear, temperature of cutting, hydrolytic destruction, milling cutter, atmospheric moisture.