

8. Махуренко, Г.С. Дискретный принцип максимума в задаче календарного планирования работы флота / Г.С. Махуренко, А.Г. Шибяев // Экономика и эксплуатация морского транспорта. – 1979. – Вып. 15. – С. 97-99.

9. Xinlian, X. A Dynamic model for fleet planning / X. Xinlian, Ch. Daisong, T. Wang // Maritime Policy & Management. – 2000. – No. 27 (1). – p. 53-63. – doi.org/10.1080/030888300286680

10. Topaloglu, H. Sensitivity Analysis of a Dynamic Fleet Management Model Using Approximate Dynamic Programming / H. Topaloglu, W.B. Powell // Operational Research. – 2007. – Vol. 55 (2). – p. 319-331. – doi.org/10.1287/opre.1060.0347

11. Ногин, В.Д. Введение в оптимальное управление / В.Д. Ногин. – Санкт-Петербург: Изд-во «ИТАС», 2008. – 92 с.

12. Таха, Х.А.. Введение в исследование операций / Х.А. Таха. – Москва: Вильямс, 2005. – 912 с.

13. Кутковецкий, В.Я. Дослідження операцій / В.Я. Кутковецкий. – Миколаїв: Вид-во МДГУ ім. П. Могили, 2003. – 260 с.

14. Пропой, А.И. Элементы теории оптимальных дискретных процессов / А.И. Пропой. – Москва: Наука, 1973. – 256 с.

**Arzumanyan A.M.**

*Doctor of Technical Science, professor,  
National Polytechnic University of Armenia Gyumri Branch*

**Manukyan H.S.**

*Candidate of Technical Science, docent,  
National Polytechnic University of Armenia Gyumri Branch*

## **ECOLOGICALLY HARMLESS DRY THIN BLADE PROCESSING OF ALLOYS FROM NON-FERROUS METALS**

*Арзуманян Алексан Мкртычевич*

*док.техн.наук, профессор, Национальный политехнический университет Армении, Гюмрийский филиал*

*Манукян Оганес Самвелович*

*канд.техн.наук, доцент, Национальный политехнический университет Армении, Гюмрийский филиал*

## **ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗВРЕДНАЯ СУХАЯ ТОНКОЛЕЗВИЙНАЯ ОБРАБОТКА СПЛАВОВ ИЗ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ**

**Abstract.** The dependence of the roughness of the machined surface from the speed and filing rate for the thin blade milling of copper and aluminum alloys with corundum cutting inserts is presented. The experiments established the influence of the milling speed on the height of the microroughness, it was also established that with an increase in the cutting speed, the height of the microroughness decreases. With the increasing filing, the height of the microroughness increases. It has been established that the use as a cooling-cutting fluid on the basis of sunflower oil assists to obtain a high-quality treated surface and does not harm the environment.

**Аннотация.** Приведена зависимость шероховатости обработанной поверхности от скорости и подачи резания при тонколезвийном фрезеровании медных и алюминиевых сплавов корундовыми режущими пластинами. Опытами установлено влияние скорости фрезерования на высоту микронеровностей, также установлено, что при увеличении скорости резания высота микронеровностей уменьшается. При увеличении подачи увеличивается высота микронеровностей. Установлено, что применение смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) на основе подсолнечного масла способствует получению качественной обработанной поверхности и не наносит вред окружающей среде.

*Key words: roughness, corundum, cutting process, non-ferrous metals, cooling-cutting fluid.*

*Ключевые слова: шероховатость, корунд, процесс резания, цветные металлы, смазочно-охлаждающая жидкость.*

Фрезерование, сверление и другие виды лезвийной обработки металлов при использовании СОЖ сопровождаются загрязняющими выбросами. Их используют не только для охлаждения, но и в какой-то мере для связывания частиц образовавшейся пыли, особенно при тонколезвийной обработке [1].

В настоящее время использование различных смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС) наносят значительный ущерб окружающей

среде, особенно, когда они изготовлены из масляных компонентов. И поэтому в последнее время все большее применение получают технологии “сухого резания” с полным отказом СОТС, с применением новых износостойких инструментальных материалов [2].

Тонколезвийная обработка сплавов из цветных металлов корундовыми режущими пластинами СОТС требуется в основном для смазывания обрабатываемой поверхности и ликвидации

процесса наростообразования, особенно при обработке дюралюминия и меди.

Сравнивая качественные показатели СОЖ марки сульфозфрезол (ГОСТ 122-54) и 5%-й эмульсии подсолнечного масла в воде показало, что использование сульфозфрезола можно заменить на 5%-ую эмульсию. Это обусловлено тем, что по качественным показателям 5%-я эмульсия не уступает сульфозфрезолу, она не содержит вредных

веществ, легко разводится водой, не представляет опасности для оператора и обслуживающего персонала, более чем в 20 раз дешевле сульфозфрезола и не требует дополнительных расходов на утилизацию [3].

Исследования проводились с применением и без применения смазывающе – охлаждающей жидкости [4,5].

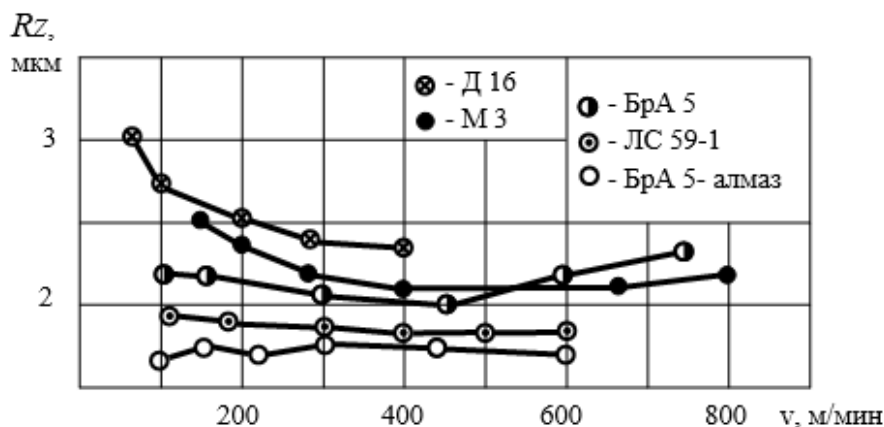


Рис. 1. Зависимость шероховатости обработанной поверхности от скорости резания.

Зависимость высоты микронеровностей обработанной поверхности Rz от скорости резания приведена на рис. 1.

При обработке меди М3 корундовыми пластинами с увеличением скорости резания от  $v = 140$  до  $350$  м/мин высота микронеровностей уменьшается (в этом диапазоне скоростей иногда стружка портит обработанные поверхности), а при дальнейшем увеличении скорости от  $v = 350$  до  $800$  м/мин она почти остается неизменной.

При обработке без охлаждения дюралюминия Д16 корундовыми режущими пластинами в диапазоне скоростей резания  $v = 70 \div 400$  м/мин шероховатость обработанной поверхности улучшается. При увеличении скорости резания наблюдается стабильный нарост, размеры которого уменьшаются с увеличением скорости резания (рис.1).

При тонколезвийной обработке алмазными резцами дюралюминия Д16 нарост образуется в диапазоне скоростей резания от  $v = 70 \div 200$  м/мин. Когда скорость резания увеличивается от  $v = 70$  до  $120$  м/мин, шероховатость обработанной поверхности ухудшается, а при увеличении от  $v = 120$  до  $200$  м/мин – улучшается и при дальнейшем увеличении скорости резания шероховатость обработанной поверхности почти остается неизменной. Изменение шероховатости обработанной поверхности связана со стабильностью появляющегося нароста и его исчезанием. Нарост стабилен при скоростях  $v = 100 \div 150$  м/мин и исчезает при скоростях резания  $v = 200 \div 400$  м/мин [6].

При обработке меди и медных сплавов корундовыми резцами из алмазов, применении в качестве смазывающе – охлаждающей жидкости на

основе подсолнечного масла, шероховатость обработанной поверхности не меняется. Во время обработки алюминиевых сплавов корундовыми и алмазными резцами шероховатость обработанной поверхности получалась относительно хуже. Исследования показали, что при обработке алюминиевых сплавов корундовыми режущими пластинами с применением СОЖ всегда наблюдается стабильный нарост на передней поверхности режущей пластины, размеры которого меньше по сравнению с наростом, полученными без применения СОЖ. Это связано с тем, что СОЖ не попадает в зоны контакта стружки – передняя поверхность пластины и обрабатываемый материал – задняя поверхность резца. Здесь надо учесть, что рубин и алюминиевые сплавы родственны, а это способствует образованию стабильного нароста.

При обработке латуни ЛС59-1 и бронзы БрА5 корундовыми режущими пластинами с увеличением скорости резания от  $v = 100$  до  $250$  м/мин шероховатость обработанной поверхности улучшается незначительно и при дальнейшем увеличении остается неизменной. При обработке указанных материалов алмазными резцами шероховатость обработанной поверхности остается неизменной с увеличением скорости резания.

Сравнение шероховатости обработанной поверхности при обработке цветных металлов рубиновыми и алмазными резцами показало, что шероховатость обработанной поверхности выше на один разряд при обработке алмазными резцами. Эта разница объясняется геометрией ( $\gamma = 0^\circ, \lambda = 0^\circ, \alpha = 8^\circ, \alpha_1 = 8^\circ$ ) и высоким показателем режущих поверхностей ( $Rz = 0,20$  мкм) алмазного резца. Также были проведены опыты с рубиновыми резцами, имевшими геометрию и шероховатость

поверхностей аналогичную поверхностей алмазного резца. Исследования показали, что шероховатость обработанной поверхности одинакова при обработке латуни ЛС59-1 (рис.1).

На основании проведенных исследований было установлено, что при обработке цветных металлов резцами из алмаза и корундовыми режущими пластинами шероховатость обработанной поверхности получается одинаковой ( $R_a = 0,63 \dots 0,32$  мкм). Отсюда следует, что дорогостоящие алмазные резцы могут быть заменены более дешевым режущим материалом – синтетическим корундом (рубин “Роза”, рубин “Р-2”, лейкосапфир и т.д). Наилучшая шероховатость обработанной поверхности получается при

скоростях резания:  $v = 270 \div 700$  м/мин при точении меди;  $v = 100 \div 600$  м/мин – медных сплавов;  $v = 200 \div 400$  м/мин – дюралюминия Д16. При обработке алюминиевых сплавов (с СОЖ и без применения СОЖ) корундовыми режущими пластинами на режущих поверхностях пластины наблюдается стабильный нарост, размеры которого меняются при изменении скорости резания и при применении СОЖ.

#### **Зависимость шероховатости обработанной поверхности от подачи резания**

Подача менялась в диапазоне от  $s = 0,021$  до  $0,115$  мм/об.

На рис. 2 показана зависимость шероховатости обработанной поверхности от подачи.

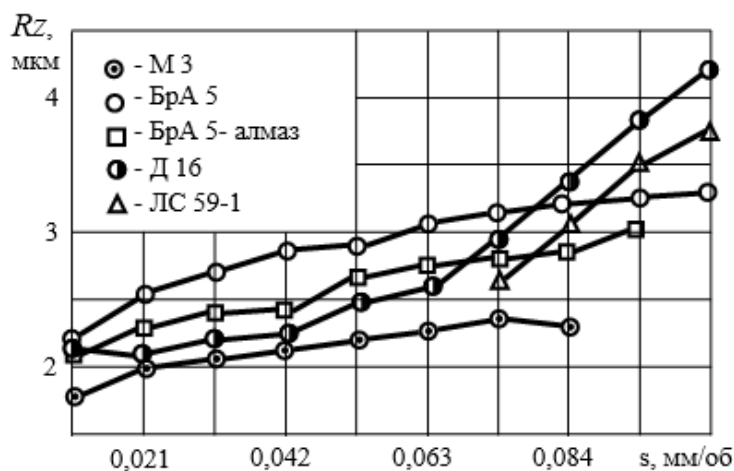


Рис. 2. Зависимость шероховатости обработанной поверхности от подачи резания.

Исследования показали, что при обработке цветных металлов алмазными и рубиновыми резцами с увеличением подачи увеличивается высота микронеровностей обработанной поверхности. Наилучшая шероховатость получается при подачах от  $s = 0,021 \div 0,042$  мм/об.

При тонколезвийной обработке дюралюминия Д16 при подачах свыше  $s = 0,094$  мм/об на передней поверхности резца наблюдались следы адгезионного износа, при этом наблюдались также вырывы на контактных участках, которые быстро увеличивались после появления первого очага. Это объясняется родством рубина и дюралюминия. Отрывающиеся частицы рубина иногда так велики, что следы углубления видны невооруженным глазом.

При обработке алюминиевых сплавов алмазными и корундовыми резцами с применением смазывающе – охлаждающей жидкости на основе подсолнечного масла улучшается шероховатость обработанной поверхности, причем чистота получается выше с применением керосина.

В настоящее время для продольной тонколезвийной обработки получили широкое распространение алмазные резцы, имеющие форму режущей части в виде переходных кромок – фасок длиной  $0,1 \div 0,5$  мм, для обработки цветных металлов были использованы корундовые режущие

пластины с той же геометрией. Требуемые значения задних углов режущих пластин обеспечивались при помощи опорной подкладки, а точная установка режущих пластин на станке относительно детали – при помощи микроскопа с увеличением в  $100\times$ .

При параллельной установке фаски относительно поверхности обработки, шероховатость обработанной поверхности при обработке латуни ЛС 59-1 оказались в диапазоне подачи от  $s = 0,021 \div 0,084$  мм/об, бронзы БрА5 в пределах  $R_a = 0,63 \dots 0,32$  мкм шероховатости обработанной поверхности (рис.2).

Опыты показали, что погрешности установки, особенно для весьма малых углов  $\varphi$ , приводит к повышению шероховатости поверхности.

На основании сделанных исследований доказано, что наилучшая шероховатость обработанной поверхности получается при подачах от  $s = 0,021$  до  $0,052$  мм/об для меди, от  $s = 0,021$  до  $0,063$  мм/об – для медных сплавов и от  $s = 0,021$  до  $0,042$  мм/об – для алюминиевых сплавов. При обработке цветных металлов корундовыми резцами, имеющими переходную фаску с длиной  $0,1 \div 0,5$  мм, параллельную цилиндрической поверхности обрабатываемого материала, получают поверхности с шероховатостью в диапазоне  $R_a = 0,63 \dots 0,32$  мкм. Применение

смазывающе – охлаждающей жидкости на основе подсолнечного масла способствует улучшению шероховатости обработанной поверхности.

Сравнение характеров зависимостей шероховатости обработанной поверхности от режимов резания при фрезеровании цветных металлов корундовыми режущими пластинами с ранее полученными зависимостями при тонком фрезеровании цветных сплавов твердосплавными и алмазными режущими инструментами показали, что они одинаковы.

Для расчета зависимости высоты микронеровностей обработанной поверхности от

режимов и условий резания выведена формула, имеющая вид:

$$R_z = \frac{C \cdot s_{пр}^y}{v^x} \text{ мкм.} \quad (1)$$

Значения коэффициентов С и показателей х, у приведены в табл.1[7].

Исходя из того, что при изменении геометрических параметров на шероховатость обработанной поверхности остается почти постоянной, в данной работе нами принималось во внимание только влияние скорости резания на шероховатость обработанной поверхности.

Таблица 1

Значения коэффициентов С и показателей степеней х, у

Обрабатываемый материал	Условия резания	Значения коэффициентов и показателей степеней		
		С	х	у
Медь М3 или бронза БрА5	Без СОЖ и СОЖ на основе подсолнечного масла	18	0,13	0,36
Латунь ЛС59-1 или бронза БрА5	Без СОЖ	9	0,11	0,20
Дюралюминий Д1 или Д16	Без СОЖ	20	0,25	0,20
	СОЖ на основе подсолнечного масла	9	0,15	0,20

**Зависимость шероховатости обработанной поверхности от скорости резания при использовании СОЖ**

Тонколезвийному фрезерованию были подвергнуты бронза БрА5, латунь ЛС59-1 и дюралюминий Д16 при  $B = 2$  мм,  $s_{\text{поп}} = 0,012$  мм/об и геометрии резца:  $\varphi = 90^\circ, \alpha = 3^\circ, \gamma = -3^\circ, \lambda = 3^\circ$ . Опыты проводились с СОЖ и без ее применения. Режущие пластины были доведены до шероховатости  $R_z = 0,10$  мкм.

На рис.3 приведены зависимость шероховатости обработанной поверхности от скорости резания.

Исследования показали, что при обработке дюралюминия Д16 шероховатость обработанной поверхности улучшается при увеличении скорости резания (рис.3). При обработке дюралюминия Д16

без применения СОЖ с уменьшением скорости резания от  $v = 380$  до  $190$  м/мин высота микронеровностей обработанной поверхности увеличивается от  $R_z = 1,2$  до  $1,84$  мкм, а блеск ее меняется от светло-матового до темно-матового. При дальнейшем уменьшении скорости резания от  $v = 190$  до  $65$  м/мин высота микронеровностей обработанной поверхности сильно увеличивается от  $R_z = 1,84$  до  $4,8$  мкм.

В этом диапазоне скоростей резания на обработанной поверхности появляются глубокие кольцевые риски и трещины, а также наблюдается сильная деформация поверхностного слоя с вдавленными и растертыми на поверхности частицами металла.

При обработке дюралюминия Д16 применялись смазывающе-охлаждающие жидкости на основе подсолнечного масла (рис.3).

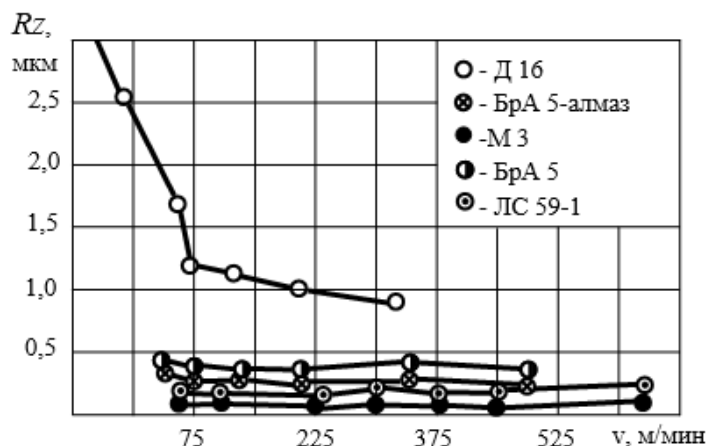


Рис. 3. Зависимость шероховатости обработанной поверхности от скорости резания. СОЖ-на основе подсолнечного масла.

Исследования показали, что при применении этих жидкостей декоративный вид обработанных поверхностей улучшается. Смазывающе – охлаждающие жидкости уменьшают размеры нароста, в связи с этим улучшается шероховатость обработанной поверхности. Получить ощутимые результаты при применении СОЖ невозможно, так как все время на передней поверхности наблюдается стабильный нарост. При обработке дюралюминия Д16 оптимальные скорости резания лежат в диапазоне от  $v = 130$  до  $380$  м/мин и выше.

Исследования показали, что при обработке бронзы БрА5 корундовыми режущими пластинами без применения СОЖ высота микронеровностей обработанной поверхности уменьшается от  $Rz = 0,44$  до  $0,26$  мкм при увеличении скорости резания от  $v = 100$  до  $400$  м/мин. При дальнейшем увеличении скорости резания от  $v = 400$  до  $560$  м/мин высота микронеровностей увеличивается, что связано с динамическим состоянием станка. Применение в качестве СОЖ на основе подсолнечного масла не привело к изменению шероховатости обработанной поверхности, оно лишь способствовало удалению стружки из зоны резания.

Аналогичные результаты были получены при обработке латуни ЛС59-1. Применение СОЖ на основе подсолнечного масла тоже не влияло на шероховатость обработанной поверхности. Увеличение скорости резания от  $v = 120$  до  $700$  м/мин способствовало уменьшению шероховатости поверхности.

При просмотре под микроскопом (ув.  $500\times$ ) видно, что обработанные поверхности латуни ЛС59-1 имеют кольцевые неглубокие риски, глубина которых уменьшается при увеличении скорости резания.

Наблюдения обработанных поверхностей показали, что при обработке бронзы БрА5 увеличение скорости резания способствует уменьшению количества трещин и риск кометообразной формы.

#### **Выводы**

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. При увеличении скорости резания шероховатость обработанной поверхности улучшается при обработке дюралюминия Д16.
2. Целесообразно обработку проводить при скоростях резания  $v = 190 \div 380$  м/мин для

дюралюминия Д16,  $v = 100 \div 700$  м/мин для латуни ЛС59-1,  $v = 100$  до  $560$  м/мин для бронзы БрА5.

3. Смазывающе – охлаждающие жидкости не способствуют улучшению шероховатости обработанной поверхности цветных металлов, за исключением алюминиевых сплавов.

#### **Список литературы:**

1. Арзуманян А.М. Экологическая обработка сплавов из цветных металлов. Международная научная конференция “Современные проблемы экологии”, труды, т.6, Кутаиси, Грузия, 21-22 сентября, 2018г.- С. 274- 278.

2. Москвичев А.А, Кварталов А.Р. Тенденции экологического безвредного “сухого резания” металлов. Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева, № 3(110).- С. 110-116.

3. Акоюн Х.Н. Экспериментальные исследования получения СОЖ ультразвуковым эмульгированием растительных масел в воде и оценка эффективности их применения//Наука, техника и образование.-М.,2019.- №4(57).- С.67-71.

4. Аваков А.А. и др. Применение рубиновых резцов при тонком продольном точении цветных металлов, «Вестник машиностроения», 1971, № 7.

5. Арзуманян А.М. и др. Определение рациональных режимов резания в процессе прерывистой обработки меди М3 и бронзы БрАЖ9-4//Вестник ГИУА. Серия “ Механика, машиноведение, машиностроение”, № 2. –Ереван: - 2015.- С. 78-87.

6. Арзуманян А.М., Манукян О.С. Пепелян К.А. Тонколезвийное фрезерование сплавов из цветных металлов монокристаллическими корундовыми пластинами.Международный научный журнал “Символ науки”, № 2.-Уфа:- 2019.- С. 18-21.

7. Арзуманян А.М., Манукян О.С. Зависимость износа режущей пластины и шероховатости обработанной поверхности от режимов резания при тонколезвийной обработке цветных сплавов. Вестник НПУА. Серия “Механика, машиноведение, машиностроение”, № 2. –Ереван: - 2018.- С. 66-73.

*Работа выполнена в рамках государственного финансирования по теме 18SH-2D010 ГКН Республики Армения.*