

УДК 621.924.2.025.034

**ЗАВИСИМОСТЬ ИЗНОСА РЕЖУЩЕЙ ПЛАСТИНЫ И
ШЕРОХОВАТОСТИ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ОТ РЕЖИМОВ
РЕЗАНИЯ ПРИ ТОНКОЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКЕ ЦВЕТНЫХ
СПЛАВОВ**

А.М. Арзуманян, О.С. Манукян

Национальный политехнический университет Армении, Гюмрийский филиал

Приведена зависимость шероховатости обработанной поверхности и износа по задней грани от оптимальных режимов резания при тонколезвийной обработке алюминиевых и медных сплавов корундовыми режущими пластинами. Выявлено, что возможности тонкого торцевого фрезерования цветных металлов и сплавов по качеству обработки можно реализовать, если применить режущие пластины, которые заранее ориентированы по кристаллографическим осям, с учётом их уникальных свойств.

Опыты показывают, что при увеличении скорости резания v высота микронеровностей R_a уменьшается. Характерно, что при малых скоростях резания интенсивность уменьшения более очевидна. Дальнейшее увеличение скорости не приводит к существенным изменениям R_a . Таким образом, скорость резания оказывает большое влияние на шероховатость обработанной поверхности. С увеличением скорости резания уменьшается пластическая деформация, поэтому высота микронеровностей R_a уменьшается. При обработке малопластичных металлов, обладающих большой истирающей способностью, микрогеометрия поверхности определяется условиями трения и искажением профиля лезвия по мере износа.

Подача также оказывает определенное влияние на образование микрогеометрии поверхности. Величина подачи предопределяет форму и высоту остаточных гребешков. С увеличением толщины срезаемой стружки увеличиваются объём срезаемого слоя и рабочая длина контакта стружки с передней поверхностью резца. При уменьшении деформации срезаемого слоя повышается сила резания. Следовательно, увеличение подачи приводит к ухудшению микрогеометрии поверхности, присущей данной разновидности механической обработки.

Доказано, что шероховатость обработанной поверхности при тонкой обработке цветных сплавов корундовыми режущими инструментами находится в пределах $R_a = 0,32 \dots 0,08$ мкм, аналогично алмазным. Износ по задней грани ($h_3=0,1$ мм) при обработке вышеуказанных материалов составляет 250...280 км без применения смазочно-охлаждающих технологических сред (СОТС).

Ключевые слова: износ, шероховатость, режимы резания, цветные сплавы.

Введение. Известно, что при тонколезвийной обработке цветных сплавов с увеличением режимов резания и износа по задней грани режущей пластины шероховатость обработанной поверхности увеличивается [1,2]. На первом этапе обработки происходит уменьшение шероховатости на режущей кромке пластин, а на втором этапе – нормальный износ. Эти явления хорошо коррелируются с известной в теории резания и технологии машиностроения кривой износа инструмента: вначале имеет место уменьшение шероховатости на самой режущей кромке резца, затем - нормальный износ. При переходе в зону предельного износа силы резания и вызываемые ими вибрации возрастают [3,4]. Традиционная практика назначения режима резания имеет субъективную методическую основу, когда рассматривается конечное изношенное состояние режущих инструментов без учета последовательного изменения параметров износа во времени, что не обеспечивает оптимальных условий протекания процесса [5].

В работах В.Н. Подураева, А.Д. Макарова и других исследователей предлагается использовать принципы оптимизации для выбора условий механической обработки с учетом надежности режущих пластин, повышения эффективности обработки металлов и сплавов путем управления температурно-силовым режимом обработки. По результатам анализа методов и средств оптимизации процесс тонколезвийной обработки цветных металлов и сплавов и изнашивания режущего лезвия, критерием затупления которого является шероховатость обработанной поверхности, в работе представлен как управляемый детерминированный целенаправленный процесс [6]. Общий концептуальный замысел заключается в использовании уравнений, характеризующих стойкость инструментов, для последовательного описания процесса по длине пути резания и управления режимными параметрами. Проблема управления сводится к математическому описанию функции длины пути резания, ограничений, функционала качества управления, а также к выбору и адаптации математических методов и средств оптимизации применительно к рекуррентным соотношениям величины износа. В частности, в зависимости от формулировки вычислительной задачи в качестве функционала в дальнейшем проанализированы интегральные целевые функционалы, минимизирующие по точкам управления переменную часть себестоимости обработки деталей на операции, штучное время, погрешность, шероховатость обработанной поверхности, энергозатраты, а также длину пути резания режущей пластины и температуру резания [7].

Рассмотренные методики нашли проверку с помощью экспериментальных данных, полученных для торцевых фрез, оснащенных корундовыми пластинами, при обработке цветных металлов и сплавов разных марок: бронза БрАЖ9-4, БрОЦС 6-6-6, БрА 5, латунь ЛС59-1, медь МЗ, дюралюминий Д1 и Д16, алюминиевый сплав Ал9.

Разрабатываемые алгоритмы управления режимными параметрами приобретают особую значимость и актуальность при тонколезвийной обработке ряда цветных металлов и сплавов. Возможности тонкого торцевого фрезерования цветных металлов и сплавов по качеству обработки можно реализовать, если применять режущие пластины, которые заранее ориентированы по кристаллографическим осям, с учетом их уникальных свойств.

Исследованиями установлено, что в зависимости от скорости фрезерования при малых сечениях срезаемого слоя стойкость резцов изменяется в пределах 100...5000 мин. При этом заданную стойкость можно получить путем выбора скорости резания, подачи и глубины резания:

$$\text{для бронзы БРАЖ9-4: } \tau = 2 \cdot 10^5 / v^{2,15} \cdot s^{1,4} \cdot t^{0,17} \text{ мин};$$

$$\text{для дюралюминия Д16: } \tau = 40 \cdot 10^5 / v^{2,6} \cdot s^{1,3} \cdot t^{0,19} \text{ мин}.$$

Анализ результатов проведенных исследований позволяет сделать вывод об эффективности метода для снижения погрешностей многофакторных полиномиальных моделей стойкости резцов.

Постановка задачи. Моделирование и оптимизация процессов лезвийной обработки являются актуальной задачей теории и практики современного машиностроения. Целью работы является проведение исследований по износостойкости корундовых режущих пластин и шероховатости обработанных поверхностей и их сравнение для определения оптимальных значений режимов обработки с дальнейшей разработкой уравнений скорости изнашивания режущих инструментов и характеристик резания на базе экспериментирования и моделирования процессов.

Результаты исследования. В качестве режущего инструмента была выбрана торцевая однозубая фреза, оснащенная корундовой режущей пластиной. Пластины, которые на оправке фрезы закреплялись механическим путем, были разрезаны из полубулк корунда. Эксперименты проводили по ориентационной схеме, согласно которой передняя поверхность режущей пластины располагалась параллельно осям L_6^3 и L_2 , а также перпендикулярно плоскости симметрии P . В плоскостях (0001) и (1120) направление [1100] является направлением плотнейшей упаковки кислорода в корунде. Плотность дислокации в базисной плоскости (0001) больше плотности дислокации призмы (1120) в 10^2 раза [8].

Заточка и доводка режущей пластины осуществлялись в лабораторных условиях. При этом шероховатость передней и задней граней пластины составляла $Ra = 0,02$ мкм. Последние имели форму прямоугольного параллелепипеда размерами $7 \times 7 \times 21$ мм. Режущая часть пластины имела следующую геометрию: $\alpha = 6^\circ$; $\gamma = -6^\circ$; $\lambda = 6^\circ$; $r = 0,5$ мм.

Заготовки из дюралюминия Д16 и латуни ЛС59-1 размерами $60 \times 60 \times 150$ мм были подвергнуты тонкому фрезерованию по симметричной схеме при режимах резания: $v = 250$ м/мин; $s = 0,02$ мм/зуб; $t = 0,06$ мм.

На рис. 1 показана зависимость шероховатости обработанной поверхности и износа по задней грани от режимов резания при обработке латуни ЛС59-1 и дюралюминия Д16. Опыты показывают, что при увеличении скорости резания высота микронеровностей уменьшается для всех вариантов сочетания.

Характерно, что при малых скоростях резания интенсивность уменьшения более очевидна. Дальнейшее увеличение скорости не приводит к существенным изменениям Ra . Следовательно, для всех вариантов закономерность не нарушается. Таким образом, скорость резания оказывает большее влияние на шероховатость обработанной поверхности. С увеличением скорости резания уменьшается пластическая деформация, поэтому высота микронеровностей Ra уменьшается. Например, при обработке бронзы БрАЖ-4 отделение (скол) стружки происходит по границам зерен, вследствие чего шероховатость обработанной поверхности ухудшается. При высоких скоростях не происходит отделения по границам зерен. В этом случае зерна

не вырываются, поэтому высота микронеровностей получается ниже, чем при обработке пластичных металлов дюралюминия Д16 и меди М3. Наибольшее влияние на микрогеометрию поверхностей оказывают пластические деформации в зоне стружкообразования и вибрации. При обработке малопластичных металлов, обладающих большой истирающей способностью, микрогеометрия поверхности определяется условиями трения и искажением профиля лезвия по

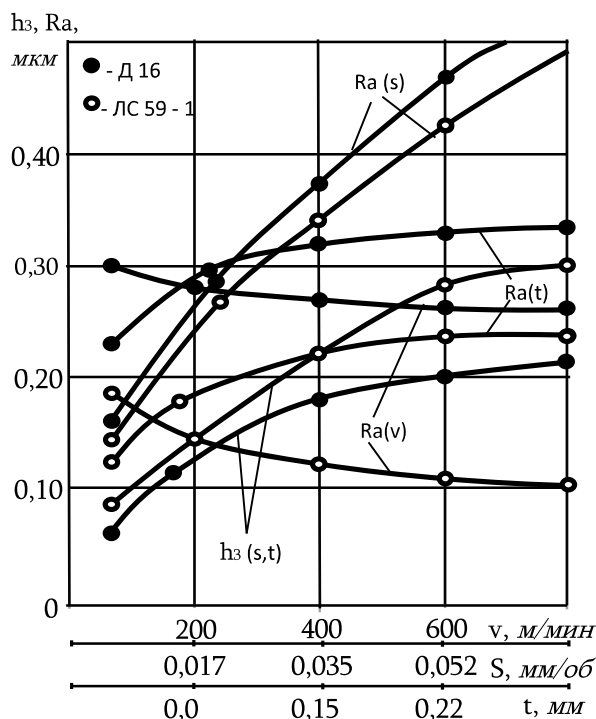


Рис.1. Зависимость шероховатости обработанной поверхности и износа по задней грани от режимов резания при тонколезвийной обработке дюралюминия Д16 и латуни ЛС59-1 рубиновой режущей пластиной при режимах обработки: $v=250$ м/мин, $s = 0,02$ мм/зуб, $t = 0,06$ мм

мере износа. С увеличением твердости металла наблюдается улучшение шероховатости поверхности.

Подача также оказывает определенное влияние на микрогеометрию поверхности. Величина подачи предопределяет форму и высоту остаточных гребешков. С увеличением толщины срезаемой стружки увеличиваются объем срезаемого слоя и рабочая длина контакта стружки с передней поверхностью резца, уменьшается деформация срезаемого слоя, а также повышается сила резания. Следовательно, увеличение подачи приводит к ухудшению микрогеометрии поверхности, присущей данной разновидности механической обработки. Согласно общеизвестным формулам, расчетная высота остаточных микронеровностей при точении и фрезеровании пропорциональна квадрату подачи:

- для точения - $Ra = s^2/8r$, где r - радиус закругления пластины; s - подача детали, мм/зуб;
- для фрезерования - $h = \omega_1^2 s^2 / \omega^2 8r$ (формула Чебышева) [9], где h – высота микронеровностей; r - радиус фрезы; ω_1 - дуга, измеряющая условное расстояние между смежными зубьями фрезы; ω - угловая скорость фрез; s - подача детали, м/с.

Таким образом, изменение подачи приводит к изменению высоты гребешков. Сказанное особенно наглядно подтверждается результатами наших экспериментов, приведенных на рис.2. Характер изменения шероховатости как для обрабатываемых, так и для режущих материалов одинаков. По абсолютному значению при обработке меди МЗ и дюралюминия Д16 шероховатость больше, чем при обработке латуни ЛС59-І и бронзы БрАЖ9-4. Это объясняется физико-механическими свойствами этих материалов и их модулем пластичности (E_p).

Опыты показали, что при обработке дюралюминия Д16 режущими пластинами из рубина "Роза" длина пути резания составляет около 350 км, а при обработке лейкосапфиром – 220 ... 260 км. Такая же картина наблюдается и при обработке латуни ЛС59-І вышеуказанными инструментальными материалами. Этого можно достигнуть, применив только алмазный инструмент. Сказанное объясняется изменением состояния локальных центров, способных закреплять движущуюся дислокацию [8].

Эксперименты проведены также на основе факторного планирования типа 3^3 . Математическая модель эксперимента находится в виде

$$h_3 = C_{h_3} v^{a_1} s^{a_2} f^{a_3}. \quad (1)$$

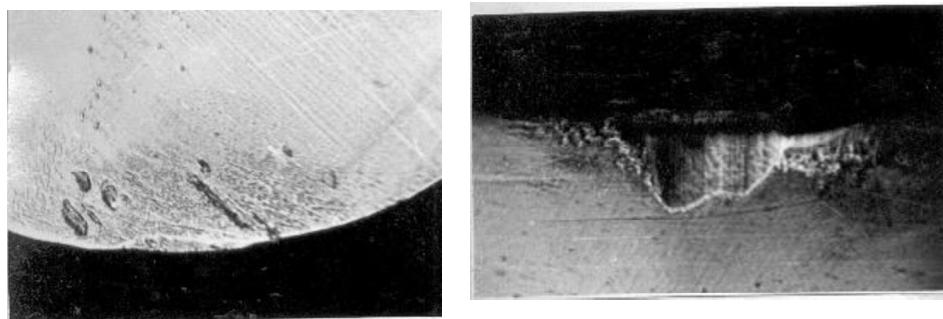


Рис. 2. Микрофотография износа передней и задней поверхности режущей пластины при обработке латуни ЛС59-1. Длина пути резания $L=30$ км. Режимы резания: $v=150$ м/мин, $s=0,013$ мм/зуб, $t=0,05$ мм

В табл. 1 приводятся результаты износа по задней грани по планам эксперимента. Логарифмируя уравнение (1) и вводя соответствующие обозначения, получаем линейный оператор типа: $L=v_l + s_l + t_l$.

Таблица 1
Результаты исследований износа режущей пластины по задней грани

Режим фрезерования			Износ по задней грани (при длине пути резания $L=30$ км)		Шероховатость обработанной поверхности	
v , м/мин	s , мм/зуб	t , мм	h_z , мкм		Ra , мкм	
			ЛС59-1	Д16	ЛС59-1	Д16
88	0,007	0,2	0,14	0,011	0,12	0,14
250	0,007	0,02	0,05	0,005	0,14	0,16
703	0,007	0,063	0,12	0,012	0,10	0,14
88	0,002	0,02	0,07	0,006	0,29	0,32
250	0,022	0,063	0,16	0,015	0,21	0,26
703	0,022	0,2	0,41	0,038	0,16	0,21
88	0,070	0,063	0,24	0,022	0,49	0,56
250	0,070	0,2	0,61	0,055	0,37	0,46
703	0,070	0,02	0,22	0,024	0,41	0,53

Таблица 2

Значения коэффициентов и показателей степеней в формуле (1)

Обрабатываемый материал	Коэффициенты и показатели степеней							
	C_{h_3}	a_1	a_2	a_3	C_{h_2}	a_1	a_2	a_3
ЛС59-1	$14 \cdot 10^{-2}$	0,26	0,52,	0,47	$7,6 \cdot 10^{-2}$	0,28	0,51	0,55
Д16	$10,2 \cdot 10^{-2}$	0,30	0,55	0,50	$7,2 \cdot 10^{-2}$	0,22	0,49	0,53

На рис. 1 показаны графики зависимостей h_3 от s и t при обработке латуни ЛС59-1 и дюралюминия Д16 после 30 км пути резания при режимах резания: $v = 250$ м/мин, $s = 0,022$ мм/зуб, $t = 0,06$ мм.

С использованием данных табл. 1 по составленной программе рассчитаны все неизвестные коэффициенты и показатели степеней уравнения (1) (табл. 2). Проверка гипотезы, а также графики зависимостей h_3 от v , s , t показывают, что режимы резания по-разному влияют на h_3 .

Выводы

1. Шероховатость обработанной поверхности при тонкой обработке цветных сплавов режущими инструментами из алмаза, эльбора, гексанита и синтетического корунда находится в пределах $Ra=0,32...0,08$ мкм при режимах резания $v = 250...400$ м/мин, $s = 0,02$ мм/зуб, $t = 0,05$ мм.
2. Износ по задней грани ($h_3 = 0,1$ мм) при обработке Д16 и ЛС59-1 составляет для синтетического корунда 250...280 км, для алмаза - 500 км и для эльбора - 200...220 км.
3. При правильной разрезке корундовой заготовки по плоскостям ее можно использовать в качестве многолезвийного инструмента, увеличивая его эксплуатационные возможности.
4. Опыты показали, что износостойкость режущих пластин из синтетического корунда больше при ориентационной схеме, где оптическая ось L_6^3 перпендикулярна L_2 (ось второго порядка), и составляет 200...250 км ($h_3=0,1$ мм).
5. С увеличением подачи от 0,007 мм/зуб до 0,07 мм/зуб шероховатость обработанной поверхности увеличивается до 2,5 раза.
6. Наибольшая эффективность процесса резания латуни марки ЛС59-1 и дюралюминия марки Д16 корундовой режущей пластиной достигается в случае управления режимными параметрами по износу задней грани и шероховатости обработанной поверхности.

Работа выполнена по теме 18SH-2D010 в рамках государственного финансирования ГКН при Министерстве образования и науки РА.

Литература

1. **Нгуен Ван Кыонг, Ямников А.С.** Методология оптимизации режимов резания// Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии.-2012. - №1(291). - С. 56-63.
2. **Арзуманян А.М.** Механизм износа корундовых режущих пластин при тонколезвийной обработке цветных сплавов // East European Scientific Journal.- Warsaw, Poland, 2016. - P.76 - 80.
3. **Бобров В.В.** Основы теории резания.- М.: Машиностроение, 1976. - 344 с.
4. **Ямникова О.А.** Моделирование упругих колебаний валов при лезвийной обработке: Монография.- Тула: Изд-во ТулГУ, 2004.-187с.
5. **Грубый С.В.** Моделирование процесса изнашивания резцов из нитрида бора при обработке закаленных сталей //Технология металлов. – М., 2003. - №11 - С. 11-16.
6. **Грубый С.В.** Развитие метода алмазного микроточения на сверхточных станках для обработки отражающих поверхностей металлооптики //Технология металлов.-М.,1999. -№ 5. - С. 26-30.
7. **Грубый С.В.** Оптимизация процесса механической обработки и управление режимными параметрами.-М.: Изд. (МГТУ) им. Н.Э. Баумана, 2014. - 160 с.
8. **Арзуманян А.М., Акопян С.А., Манукян О.С., Мирвелян Т.А.** Износостойкость корундовых фрез в зависимости от кристаллографической ориентации режущих пластин // International scientific-practical conference “Modern engineering technologies and environmental protection“. - Kutaisi, Georgia, 2016, May 19-20.Part II, K. G 19-20.05. 2016. –С. 583-586.
9. Развитие науки о резании металлов / **В.Ф. Бобров, Г.И. Грановский, Н.Н. Зорев** и др. - М.: Машиностроение, 1967. - 416 с.

*Поступила в редакцию 14.11.2018.
Принята к опубликованию 18.12. 2018.*

**ԿՏՐՈՂ ԹԻԹԵՂԻԿԻ ՄԱՇՄԱՆ ԵՎ ՄՇԱԿՎԱԾ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒՅԹԻ
ԽՈՐԴՈՒԲՈՐԴՈՒԹՅԱՆ ԿԱԽՎԱԾՈՒԹՅՈՒՆԸ ԿՏՐՄԱՆ ՌԵԺԻՄՆԵՐԻՑ
ԳՈՒՆԱՎՈՐ ՀԱՄԱՁՈՒՎԱԾՔՆԵՐԻ ՆՐԱՍԱՅՐ ՄՇԱԿՄԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ**

Ա.Մ. Արզումանյան, Հ.Ս. Մանուկյան

Ներկայացված է մշակված մակերևույթի խորդուբորդությունների և կտրող թիթեղիկի հետին նիստի մաշման կախվածությունը կտրման ռեժիմներից արդյունավետ մշակման ռեժիմներով կորունդից կտրող թիթեղիկներով այլումինի և պղնձի համաձուլվածքների նրբասայր մշակման դեպքում: Գունավոր մետաղների և համաձուլվածքների նուրբ ճակատային ֆրեզման հնարավորությունները՝ ըստ մշակման որակի, իրացվում են, եթե կիրառվեն կորունդե կտրող գործիքներ, որոնք նախապես կողմնորոշված են ըստ բյուրեղաբանական առանցքների՝ հաշվի առնելով դրանց յուրահատկությունները:

Փորձերը ցույց են տվել, որ կտրման արագության մեծացման հետևանքով միկրոանհարթությունների բարձրությունները նվազում են: Բնութագրական է, որ կտրման արագության փոքր արժեքների դեպքում նվազման ուժգնությունը առավել ակնառու է: Արագության հետագա մեծացման դեպքում Ra - ն էական փոփոխության չի ենթարկվում: Այսպիսով, կտրման արագությունը մեծ ազդեցություն ունի մշակված մակերևույթի խորդուբորդությունների վրա: Կտրման արագության՝ v -ի մեծացումով փոքրանում է պլաստիկ դեֆորմացումը, որի հետևանքով միկրոանհարթությունների բարձրությունը՝ Ra - ն, նվազում է: Փոքր պլաստիկություն և մեծ քերամաշելիություն ունեցող մետաղների մշակման դեպքում մշակված մակերևույթի միկրոանհարթությունները բնորոշվում են շփման պայմաններով և կտրող սայրի տրամատի ըստ մաշման աղճատման:

Մատուցումը նույնպես ցուցաբերում է որոշակի ազդեցություն մշակված մակերևույթի միկրոանհարթությունների ձևագոյացման վրա: Մատուցման մեծությունը կանխորոշում են մնացորդային սանրիկների ձևն ու բարձրությունը: Կտրվող տաշեղի հաստության մեծացումով մեծանում են կտրվող շերտի ծավալը, կտրիչի առջևի մակերևույթի և տաշեղի հպման աշխատանքային երկարությունը: Փոքրանում է կտրվող շերտի դեֆորմացումը, մեծանում է կտրման ուժը: Հետևաբար, այս պատճառով մատուցման մեծությունը հանգեցնում է մակերևույթի միկրոերկրաչափության վատացման, որը հարիր է մեխանիկական մշակման տվյալ տարատեսակին:

Հիմնավորված է, որ մշակված մակերևույթի խորդուբորդությունները կորունդե կտրող թիթեղներով գունավոր մետաղների մշակման ժամանակ գտնվում են $Ra = 0,32...0,08$ մկմ միջակայքում, որը համարժեք է ավաստային գործիքներով մշակմանը: Վերոնշյալ համաձուլվածքները մշակելիս հետին նիստի մաշվածքը ($h_3 = 0,1$ մմ), առանց β -ՀՏՄ-ի օգտագործման, կազմում է՝ 250 ... 280 կմ:

Առանցքային բառեր. մաշում, անհարթություն, կտրման ռեժիմներ, գունավոր համաձուլվածքներ:

**THE DEPENDENCE OF THE CUTTING PLATE WEAR AND THE
PROCESSED SURFACE ROUGHNESS ON THE CUTTING REGIMES AT
THIN-BLADE PROCESSING OF NON-FERROUS ALLOYS**

A.M. Arzumanyan, H.S. Manukyan

The dependence of roughness of the processed surface and the wear on the rear face on the optimal cutting conditions at thin-blade processing of aluminum and copper alloys with corundum cutting plates is given. The possibilities of thin - face milling of non-ferrous metals and alloys in terms of the quality of processing are revealed if we use cutting plates that are pre-oriented along the crystallographic axes, taking into account their unique properties. Experiments show that with an increase in the cutting speed, the height of microscopic irregularities decreases. It is characteristic that at low cutting speeds, this intensity of reduction is more obvious. A further increase in the speed does not lead to significant changes in Ra. Thus, the cutting speed has a great influence on the surface roughness. With the increase of v , plastic deformation decreases, therefore the height of microscopic irregularities Ra decreases. When processing low-plastic metals with high abrasion, surface microgeometry is determined by the conditions of friction and the distortion of the blade profile as they wear out. The feed also has a certain effect on the formation of surface microgeometry. The feed rate determines the shape and height of the residual scallops. With an increase in the thickness of the cutting shavings, the volume of the cutting layer will increase, the working length of the contact of the shavings with the front surface of the tool increases. When reducing the deformation of the layer being cut, the cutting force increases. Consequently, for these reasons, an increase in the feed rate leads to a deterioration of the surface microgeometry inherent in this type of machining. It is proved that the roughness of the processed surface at thin-blade machining of non-ferrous alloys with corundum cutting tools is within $Ra = 0.32... 0.08 \text{ } \mu\text{m}$, similarly to diamond. The wear on the rear face ($h_3 = 0.1 \text{ mm}$) when processing the above materials is $250...280 \text{ } \mu\text{m}$, without the use of LCTM.

Keywords: wear, roughness, cutting regimes, non-ferrous alloys.