

Ю. Л. Чигиринский, Ву Ван Занг, Н. В. Чигиринская

**ВЕРОЯТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ ИЗМЕНЕНИЯ МИКРОГЕОМЕТРИИ
ПРИ МНОГОПЕРЕХОДНОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ ЦВЕТНЫХ СПЛАВОВ**

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: Julio-Tchigirinsky@yandex.ru

Приведены результаты экспериментальных исследований микрогеометрических характеристик плоских поверхностей заготовок из цветных сплавов, обработанных на переходах чернового, чистового и тонкого контурного фрезерования. Показано, что результаты обработки в части качества обработанной поверхности и в части однородности получаемых результатов существенно зависят от физико-механических свойств обрабатываемого материала. Приведены вероятностные таблицы качества для фрезерования заготовок из сплавов ПТ-3В и АМг5.

Ключевые слова: таблицы точности, технологический допуск, микрогеометрия, многопереходное фрезерование, вероятностные таблицы точности, цветные сплавы, титановый сплав, алюминиевый сплав.

Ju. L. Tchigirinsky, Vu Van Giang, N. V. Chigirinskaya

**PROBABILISTIC MODEL OF MICROGEOMETRY MODIFICATION
DURING MULTISTAGE MILLING THE NON-FERROUS ALLOYS**

Volgograd State Technical University

The results of experimental studies of microgeometric characteristics of flat surfaces of non-ferrous alloy workpieces processed at the transitions of roughing, finishing and fine contour milling are presented. It is shown that the results of processing in terms of the quality of the treated surface and in terms of the uniformity of the results obtained depend significantly on the physical and mechanical properties of the material being processed. Probabilistic quality tables for milling workpieces from Ti95Al5 and Al94Mg6 alloys are presented.

Keywords: accuracy tables, technological tolerance, surface roughness, multi-pass milling, probabilistic accuracy table, non-ferrous alloys, titanium alloy, aluminum alloy.

В данной работе мы продолжаем [1] обсуждение вопросов, связанных с формализацией начальных этапов технологической подготовки производства. В частности, с построением информационного обеспечения [2] задачи построения маршрутов обработки поверхностей заготовок из цветных сплавов. Выбор конструкционных материалов для исследования определяется, в том числе, и географическими со-

ображениями, поскольку один из авторов работы является гражданином Республики Вьетнам:

– в настоящее время во Вьетнаме активно развивается машино- и, в частности, судостроительное производство;

– в справочной литературе, традиционно используемой во Вьетнаме, отсутствуют данные об инструментальных и конструкционных материалах, разработанных в последние 30–35 лет,

а также о том, насколько изменяется геометрическая точность и качество поверхностного слоя при различных видах обработки.

– климатические условия – высокие среднегодовая температура и относительная влажность диктуют особые требования к коррозионной стойкости машиностроительной продукции;

Исходя из сказанного, в работе рассмотрены конструкционные материалы [3], относящиеся к группе цветных сплавов:

– титановый деформируемый сплав ПТ-3В (ГОСТ 19807–91), содержащий 91,2...95,3 % Ti; 3,5...5,0 % Al; 1,2...2,0 % V и следы – не более 0,3 %, – остальных элементов: Fe, Si, Zr, C, N, H, ...; область применения – в силу относительно высокой ($\sigma_b = 700...900$ МПа) прочности при достаточной пластичности и вязкости и высокого сопротивления хрупкому и усталостному разрушению, – общее машино-, судо-, приборостроение и инструментальное производство;

– алюминиевый сплав АМг5 (ГОСТ 21631–76), деформируемый сплав, содержащий 91,9...94,7 % Al; 4,8...5,8 % Mg и следы – не более 0,8 %, – остальных элементов: Fe, Si, Mn, Ti, Zn, ...; область применения определяется небольшой (2650 кг/м³) удельной массой и приемлемой ($\sigma_b = 300$ Мпа при 20 °С) прочностью – изготовление корпусных деталей в судостроении; характерной особенностью является повышенная стойкость к агрессивному воздействию морской воды.

Рекомендации в отношении достижимых при механической и физико-технической обработке параметров качества, приведенные в традиционно применяемой (в частности, в о Вьетнаме):

– Малов, А. Н. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. Т. 1. – М. : Машиностроение, 1972. – 695 с;

– Справочник технолога-приборостроителя. В 2 т. Т. 1 / Под ред. П. В. Сыроватченко. – М. : Машиностроение, 1980. – 607 с;

– Балабанов, А. Н. Краткий справочник

технолога-машиностроителя. – М. : Изд. стандартов, 1992. – 464 с;

и современной:

– Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. Т. 1 / под ред. А. С. Васильева, А. А. Кутина. – 6-е изд., перераб. и доп. – М : Инновационное машиностроение, 2018. – 756 с;

– Справочник технолога / под общ. ред. А. Г. Суслова. – Москва : Инновационное машиностроение, 2019. – 800 с;

справочной литературе, сводятся к формальному изменению параметров качества за один технологический переход – в зависимости от этапа обработки, – на один...три качества (класса шероховатости) при проектировании маршрутных технологий для изделий из стали. Если обрабатываемый материал относится к группе цветных металлов и сплавов, то рекомендации справочной литературы корректируются в пределах 1...2 качествен (классов шероховатости) с учетом субъективного опыта технолога.

Целью настоящего исследования является уточнение технологических допусков наиболее распространенного метода обработки плоских поверхностей на различных стадиях технологического маршрута применительно к обработке цветных металлов и сплавов. Исследования проведены в условиях действующего серийного производства. Заготовка – листовая прокат, толщина 20 мм. Метод обработки – контурное фрезерование концевыми фрезами. Рассмотрено изменение среднего арифметического отклонения профиля поверхности Ra на переходах черного, чистового и тонкого фрезерования.

В качестве «эталонных» – используемых для сравнения с результатами производственного эксперимента, – данных (табл. 1) рассмотрены обобщенные [2] справочные рекомендации. Погрешность параметра, характеризующего качество перехода фрезерной обработки оценивается по фактической величине технологического допуска.

Таблица 1

Технологические возможности фрезерных переходов при обработке стали (вероятностная таблица)

Метод обработки	Качество, Ra, мкм		пере- ход	последующий			Вариация, v	Стабильность, %	Станд. отклон.	
	высокое	низкое		1	2	3				
Фрезерование черновое	2,5	2,5	предыдущий	1		0,29	0,76	∞	0	–
Фрезерование чистовое	4,27	12,83		2			1,52	0,421	98,23	2,756
Фрезерование тонкое	1,51	5,1		3				0,522	94,50	1,221

В табл. 1 и следующих критерии «высокое» и «низкое» качество рассчитаны с учетом случайного рассеивания величин и округлены до 10^{-2} . Для оценки стабильности метода обработки мы используем рекомендации У. Э. Шухарта [4] и Р. А. Фишера [5]. Вероятностная оценка устойчивости рассчитана по величине коэффициента вариации v в соответствии с методикой оценки однородности (стабильности) справочных данных [2]. Стабильность методов фрезерной обработки в части обеспечения качества поверхности следует оценить, в целом, как недостаточно высокую ($v > 0,33$ [4]), средняя оценка вероятности [2] $97,274 \% < 99,973 \%$ [5]), что косвенно подтверждает известный те-

зис о структурной сложности и явно выраженном стохастическом характере процессов формирования качества поверхностного слоя. Отметим, что достоверность справочных данных для отдельных технологических методов (торцевое фрезерование черновое) не поддается количественной оценке, поскольку вариация параметров процессов механической обработки не может быть нулевой.

Аналогичные данные, полученные по результатам производственных исследований контурного фрезерования концевой фрезой, представлены ниже в табл. 2 для сплава ПТ-3В и в табл. 3 – для сплава АМг5.

Таблица 2

Шероховатость поверхности изделий из сплава ПТ-3В
(вероятностная таблица)

Метод обработки	Качество, Ra, мкм		переход	последующий			Вариация, v	Стабильность, %	Станд. отклон.
	высокое	низкое		1	2	3			
Фрезерование черновое	5,36	20,24	предыдущий	1	0,67	1,08	0,425	98,13	4,296
Фрезерование чистовое	2,72	15,19		2		1,81	0,474	96,51	3,594
Фрезерование тонкое	1,36	9,58		3			0,495	95,66	2,374

Таблица 3

Шероховатость поверхности изделий из сплава АМг5
(вероятностная таблица)

Метод обработки	Качество, Ra, мкм		переход	последующий			Вариация, v	Стабильность, %	Станд. отклон.
	высокое	низкое		1	2	3			
Фрезерование черновое	4,38	12,78	предыдущий	1	0,81	1,12	0,379	99,17	2,425
Фрезерование чистовое	2,34	10,02		2		1,64	0,442	97,63	2,215
Фрезерование тонкое	1,13	7,42		3			0,49	95,87	1,817

Сравнивая величины и изменение технологических допусков по шероховатости поверхности и вероятностные оценки стабильности технологических переходов фрезерования заготовок из цветных сплавов (табл. 2, 3) и однородность справочных данных (табл. 1), приходим к следующему заключению. Технологические допуски по шероховатости поверхности заготовок из цветных сплавов существенно отличаются от рекомендуемых справочных данных. Причем эти отличия относятся не только

к ширине поля допуска, но и к расположению границ – высота микронеровностей при обработке цветных сплавов существенно выше. Формирование качества поверхностного слоя обусловлено не только геометрическими параметрами инструмента и метода обработки, как принято считать, но и, в существенной мере, физико-химическими процессами, протекающими в зоне контакта «инструмент-заготовка» и, следовательно, физико-механическими свойствами и химическим составом конструкцион-

ного материала. При формализованном проектировании технологических маршрутов фрезерования заготовок следует обеспечивать однородность информационного обеспечения, что требует обязательной адаптации технологических справочников к условиям производства и конкретизации условий обработки – не только по этапу обработки и конструкционному материалу, но и с учетом инструментального материала и технологических режимов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Чигиринский, Ю. Л.* Повышение точности и качества обработки при многопереходном фрезеровании цветных металлов и сплавов / Ю. Л. Чигиринский, Н. И. Грибанова, Ван Занг Ву // Известия ВолГТУ : научный журнал № 3 (262) / ВолГТУ. – Волгоград, 2022. – (Серия «Прогрессивные тех-

нологии в машиностроении»). – С. 43–46. – DOI : 10.35211/1990-5297-2022-3-262-43-46. – EDN : IGSYGF.

2. *Чигиринский, Ю. Л.* Обеспечение точности и качества поверхностей при многопереходной механической обработке на основе совершенствования информационных и математических средств проектирующей подсистемы САПР ТП / Ю. Л. Чигиринский : дисс. ... д-ра техн. наук : 05.02.08, 05.13.06. – Саратовский гос. техн. университет, Саратов, 2014. – 373 с. – EDN : ZPFLSF.

3. Марочник сталей и сплавов. Центральный металлический портал. – URL : https://metallicheckiy-portal.ru/marki_metallov/search/?

4. *Shewhart, W. A.* Statistical Methods from the Viewpoint of Quality Control. – Lancaster Press, Lancaster, PA, 1939. – 501 p. – URL : <https://deming.pro/assets/statistical-method-from-the-viewpoint-of-quality-control-shewhart-walter.pdf>.

5. *Ronald A. Fisher* (1954). Statistical Methods for Research Workers (12th ed.). Edinburgh : Oliver and Boyd. 978-0-05-002170-5. ISBN : 978-0-05-002170-5