

УДК 621.914

DOI:10.30987/2223-4608-2021-2-36-40

А.Ю. Николаев, мл. науч. сотр.,

А.В. Савилов, к.т.н.

(ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет»,

664074, Иркутск, ул. Лермонтова, 83)

E-mail: andrnikolajev@gmail.com, saw@istu.edu

Повышение эффективности подготовки производства при высокоскоростном фрезеровании деталей из высокопрочных алюминиевых сплавов

Представлены результаты исследований процесса балансировки инструментальных наладок. Описано влияние величины дисбаланса инструментальных наладок при высокоскоростном фрезеровании алюминиевых сплавов на шероховатость поверхности. Показано, что балансировка инструмента в исследованном диапазоне классов обеспечивает заданную шероховатость поверхности при чистовой обработке.

Ключевые слова: балансировка; инструментальная наладка; режимы резания; высокоскоростное фрезерование; шероховатость поверхности.

A.Yu. Nikolaev, Junior research fellow,

A.V. Savilov, Can. Sc. Tech.

(FSBEI HE "Urkutsk National Research Technical University",

83, Lermontov Str., Irkutsk, 664074)

Pre-production effectiveness increase at high-speed high-strength aluminum parts milling

The investigation results of tool setup balancing are presented. There is described impact of tool setup imbalance at high-speed aluminum alloy milling upon surface roughness. It is shown that tool balancing in class range investigated ensures specified surface roughness at finishing.

Keywords: balancing; tool setup; cutting modes; high-speed milling; surface roughness.

Введение

Повышение производительности машиностроительного производства за счёт внедрения прогрессивных технологий механообработки предъявляет жёсткие требования к процессу подготовки производства [1 – 2]. В первую очередь это относится к процессам высокоскоростной лезвийной обработки алюминиевых сплавов. Это обусловлено тем, что рекомендуемые скорости резания при фрезеровании указанных материалов лежат в диапазоне 1000...3000 м/мин, что соответствует частотам вращения шпинделей фрезерных обраба-

тывающих центров от 20 000 об/мин и выше. Такие частоты вращения требуют особых процедур при подготовке инструментальных наладок, обязательным процессом является балансировка.

Инструментальная наладка – оснастка, состоящая из базового держателя, переходников, удлинителей, держателей инструмента, металлорежущего инструмента, собранная и настроенная в соответствии с технологическим процессом и предназначенная для использования на высокопроизводительном оборудовании.

Балансировка инструмента – процесс уст-

ранения дисбаланса, применяющийся для минимизации влияния динамических нагрузок, действующих на опоры быстровращающихся деталей машин в результате их неуравновешенности [3]. Балансировка выполняется на специальных балансировочных машинах различными методами [4].

Существующие требования по балансировке инструмента, установленные производителями шпинделей, базируются на стандарте ISO 1940-1. Данный стандарт регламентирует остаточный уровень дисбаланса жестких роторов, к которым инструментальные наладки можно отнести с большой натяжкой.

При частотах вращения шпинделя от 16 000 об/мин и выше требуется качество балансировки $G 2,5$, которое достигается за счет значительных временных затрат. Величина допустимого остаточного дисбаланса, выставляемая в качестве допуска для инструментальной наладки при качестве балансировки $G 2,5$, может принимать очень малые или вообще недостижимые на практике значения. Данная проблема связана с жесткой привязкой качества балансировки к рабочей частоте вращения инструмента, а также с особенностями эмпирических вычислений, в которых фигурирует масса инструментальной наладки.

Возникает необходимость пересмотра требований балансировки инструментальных наладок с целью сокращения времени и трудоемкости процесса подготовки инструмента к работе, но в тоже время без потери качества обработки или уменьшении стойкости инструмента и срока службы шпинделя станка. В научной литературе указанная проблематика практически не освещается. Проведение исследований по изучению влияния дисбаланса на выходные параметры фрезерования и на качество обработанной поверхности является актуальным.

Выбор материалов для проведения исследований

Кроме балансировки следует принимать во внимание свойства обрабатываемого материала. Для проведения экспериментов выбран высокопрочный алюминиевый сплав В95, который представляет собой сложную систему химических элементов Al-6% Zn-2,3% Mg-1,7% Cu. Высокопрочные сплавы данной системы Al-Zn-Mg-Cu обладают хорошей пластичностью в горячем состоянии и сравнительно легко деформируются в холодном состоянии после отжига. Сплав В95 хорошо об-

рабатывается резанием и сваривается точечной сваркой, его применяют в самолетостроении для нагруженных конструкций, работающих длительное время при температурах до 100...120 °С (обшивка; стрингеры; шпангоуты; лонжероны; силовые каркасы строительных сооружений и т. д.). Сплав В95 рекомендуется применять для сжатых зон конструкции и для деталей без концентраторов напряжений: свойства рассматриваемого сплава (ударная вязкость КСТ, вязкость разрушения K_{IC}) являются оптимальными для сопротивляемости разрушению в случае создания неблагоприятных условий [5].

Сплав приобретает свойства благодаря составу и последующей термической обработке. В сплаве В95 легирующие элементы цинк (5,0...7,0 %), магний (1,8...2,8 %), медь (1,4...2,0 %), добавки хрома (0,10...0,25 %) и марганца (0,2...0,6 %) при термической обработке (закалка без полиморфного превращения и последующее искусственное старение) образуют интерметаллидные фазы, которые обуславливают прочность сплава с сохранением достаточной пластичности, стойкость против коррозии под напряжением. Небольшие добавки хрома и марганца обуславливают пресс-эффект. Сплав В95 по прочности превосходит дюралюмины.

Для проведения металлографического анализа подготавливали микрошлифы с помощью оборудования для пробоподготовки (Struers, Дания), включающей автоматический отрезной станок Discotom-10 и шлифовально-полировальную систему Tegramin-25. Для выявления микроструктуры подготовленные микрошлифы протравили в реактиве – водном 5%-м растворе смеси HF и HNO₃ кислот.

Микроструктуру сплава В95 изучали на световом микроскопе «МЕТ-3» в светлом поле при увеличениях 50 – 1000 раз (рис. 1).

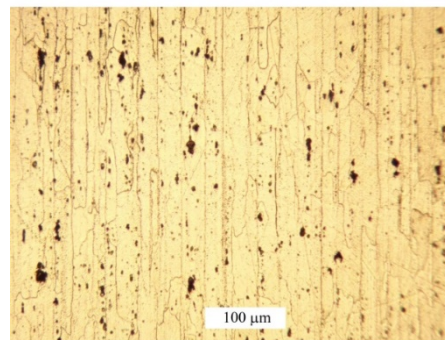


Рис. 1. Микроструктура высокопрочного алюминиевого сплава В95

В микроструктуре сплава В95 наблюдаются зерна α -твердого раствора с четкими очертаниями границ, что указывают на недостаренное состояние сплава (режим Т2), включения частиц вторичных интерметаллидных фаз

Mg_2Si (крупные темные), $MgZn_2$ (мелкие темные), $FeMnCr$ (светлые включения).

Свойства сплава после проведения термообработки по режиму Т2 приведены в табл. 1.

1. Механические свойства сплава В95Т2

σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	КСТ, кДж/м ²	K_{1C} , МПа·м ^{1/2}
500	430	11,5	60	33,5

Методика проведения эксперимента

Выполненные исследования проводились с целью повышения эффективности подготовки производства процесса высокоскоростного фрезерования деталей, изготовленных из высокопрочных алюминиевых сплавов. Эффективность производства может быть повышена за счет снижения трудоемкости балансировки инструментальных наладок, обеспечивающей заданные параметры шероховатости обработанных поверхностей.

Экспериментальные исследования включали в себя фрезерование высокопрочного алюминиевого сплава В95, с варьированием качества балансировки инструментальных наладок и контролем шероховатости. Механообработ-

ка выполнялась на фрезерном обрабатывающем центре HSC 75V linear. Для измерения сил резания применялась динамометрическая плита Kistler 9253B23. Измерение шероховатости поверхности после обработки производилось профилометром Taylor&Hobson Form Talysurf i200. Исследовались следующие инструментальные наладки.

Наладка №1 – корпусная фреза со сменными твердосплавными пластинами. Инструментальная наладка включает в себя элементы системы Carptо C5: базовый держатель C5 для инструментального конуса HSK-63A с втулкой для внутреннего подвода СОЖ и фрезу R790-032C5S2-16M со сменными твердосплавными пластинами R790-160408PH-NM H13A (рис. 2, а).



а)



б)

Рис. 2. Исследуемые фрезы:

а – корпусная фреза для наладки №1; б – концевая фреза для наладки №2

Наладка №2 – модульная инструментальная оснастка на базе гидромеханического адаптера с цельной твердосплавной концевой фрезой. Инструментальная наладка включает в себя элементы системы Carptо C5: базовый держатель C5 для инструментального конуса HSK-63A с втулкой для внутреннего подвода СОЖ и адаптер HydroGrip, а также цангу 20-16 и цельную твердосплавную фрезу AZ-3D16R6L65 (рис. 2, б). Инструмент представляет собой цельную концевую трехзубую фрезу из твердого сплава группы обрабатываемости К40 по ISO диаметром 16 мм.

Режимы резания для наладок 1 и 2 приведе-

ны в табл. 2. Обобщенные результаты исследований представлены на рис. 3.

Для наладки №1 дисбаланс варьировался при помощи балансировочных колец. Для наладки №2 дисбаланс варьировался разрушающим методом – «высверливанием».

Сборная фреза R790-032 показала стабильную работу. В рассмотренном диапазоне классов балансировки инструментальной наладки не было зафиксировано вибраций значительной амплитуды. Инструмент обладает высокой жесткостью и не нуждается в дополнительной балансировке после сборки.

Цельная твердосплавная фреза

AZ-3D16R6L65 также показала стабильную работу. В рассмотренном диапазоне классов балансировки инструментальной наладки бы-

ли зафиксированы вибрации постоянной амплитуды.

2. Режимы резания

Параметры	Инструмент	
	R790-032C5S2-16M	AZ-3D16R6L65
Глубина резания a_p , мм	7	20
Ширина резания a_e , мм	24	0,5
Скорость движения подачи v_s , мм/мин	12120	3600
Скорость резания v , м/мин	2029	754
Частота вращения шпинделя n , мин ⁻¹	20200	15000
Подача на зуб S_z , мм/зуб	0,2	0,08

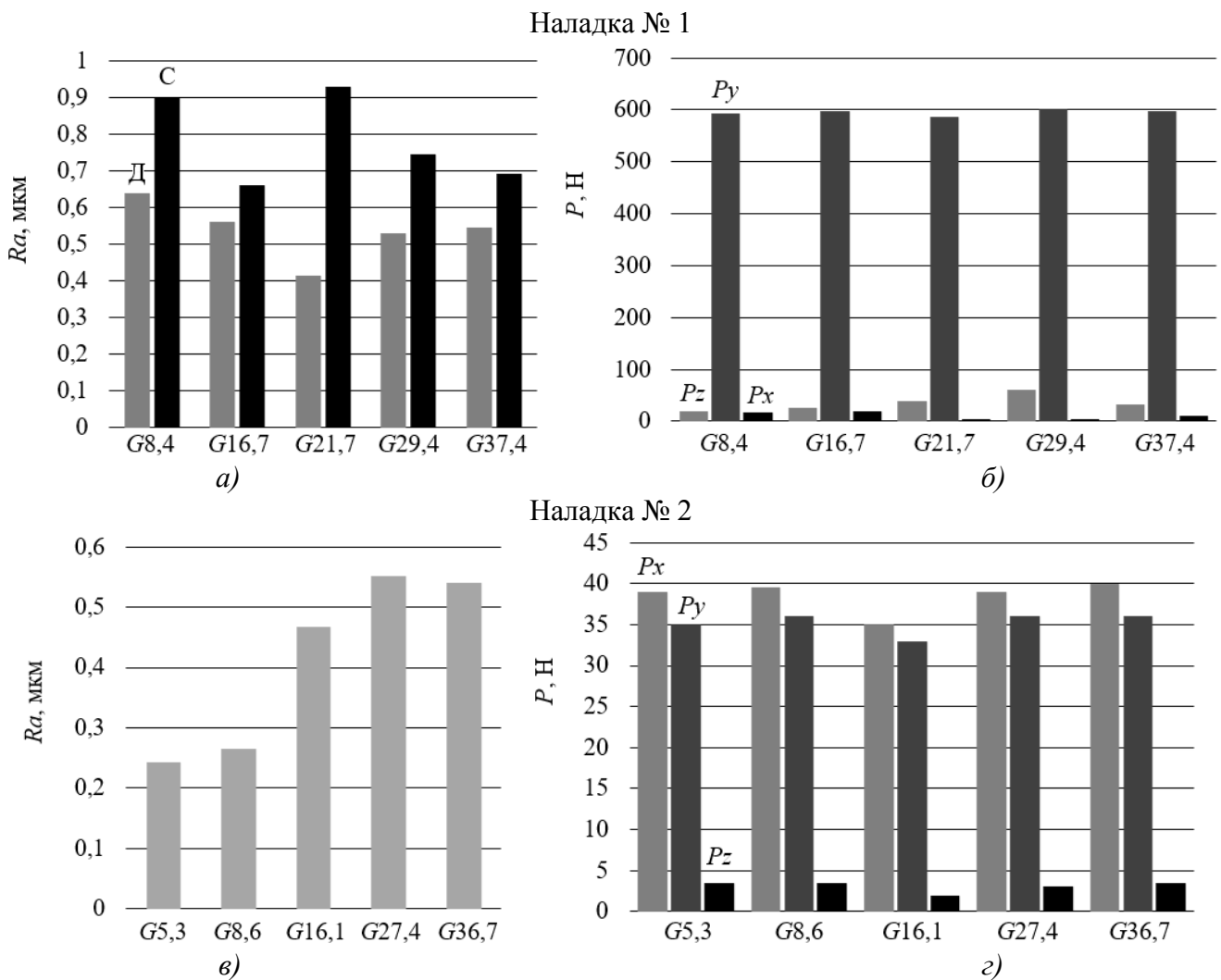


Рис. 3. Обобщенные результаты исследований:

а, в – зависимость шероховатости Ra обрабатываемой поверхности от класса точности балансировки G, мм/с, инструментальной наладки (Д – дно, С – стенка); б, г – зависимость сил резания от класса точности балансировки инструментальной наладки

В результате проведенных исследований установлено, что с увеличением остаточного дисбаланса в пределах 0,8...55,1 г·мм параметр шероховатости Ra, обработанных поверхностей, изменялся в диапазоне

0,42...0,56 мкм. Даже при минимальном качестве балансировки качество обработанной поверхности соответствовало поверхности после чистового фрезерования.

Система крепления инструмента должна

обеспечивать максимальную точность и жёсткость. Для зажима вращающегося инструмента с цилиндрическим хвостовиком должны использоваться патроны, технические параметры которых отвечают требованиям высокоскоростной обработки.

Нормируемым параметром при балансировке должна являться непосредственно величина дисбаланса U , г·мм. Следует избегать сопоставления величины дисбаланса с классами балансировки по ISO 1940-1, поскольку масса инструмента не оказывает влияние на динамические нагрузки несбалансированной инструментальной наладки. В противном случае, необходимо учитывать, что при отдельной балансировке шпинделя обрабатываемого центра и инструментальной наладки погрешности посадки обуславливают стабильно повторяющийся дисбаланс системы, специфический для конкретного инструментального интерфейса.

Требования необходимо рассчитывать исходя из обусловленных дисбалансом инструментальной наладки нагрузок на подшипниковые опоры шпинделя, а также, чтобы вибрации инструмента, остаточным дисбалансом наладки в составе шпинделя не оказывали значительного влияния на процесс резания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алейников, Д.П., Лукьянов, А.В. Оптимизация процесса металлообработки с учётом вибрационных характеристик металлообрабатывающих центров. // Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления. – 2015. – С. 167 – 172.
2. Бакшеева, Е.Н., Беломестных, А.С. Исследование шероховатости деталей после обработки на робототехни-

ческом комплексе. // ИРНТУ. – 2017. – С. 124 – 128.

3. Николаев, А.Ю. Влияние дисбаланса инструментальных наладок на качество обработанной поверхности при концевом фрезеровании. // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2019. – С. 699 – 709.

4. Савилов, А.В., Николаев, Д.Ю., Николаев, А.Ю. Исследование влияния дисбаланса инструментальных наладок на выходные показатели фрезерования // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2015. – №7 (102). С. 81 – 91.

5. Колачев, Б.А., Елагин, В.И., Ливанов, В.А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов // МИСИС. – 1999. – 416 с.

REFERENCES

1. Aleynikov, D.P., Lukyanov, A.V. Machining optimization taking into account oscillation characteristics of metal processing centers. // *East-Siberian State University of Technologies and Control*. – 2015. – pp. 167-172.

2. Baksheeva, E.N., Belomestnykh, A.S. Parts roughness investigation after machining in robotic complex. // *IRNITU*. – 2017. – pp. 124-128.

3. Nickolaev, A.Yu. Impact of tool setup imbalance upon surface worked quality at butt milling. // *Bulletin of Irkutsk State Technical University*. – 2019. – pp. 699-709.

4. Savilov, A.V., Nickolaev, D.Yu., Nickolaev, A.Yu. Investigation of tool setup imbalance impact upon output milling data // *Bulletin of Irkutsk State Technical University*. – 2015. – No.7 (102). Pp. 81-91.

5. Kolachyov, B.A., Yelagin, V.I., Livanov, V.A. *Metal Science and Nonferrous Metal and Alloy Thermal Treatment* // MISIS. – 1999. – pp. 416.

Рецензент д.т.н.
Владимир Петрович Кольцов

