

УДК 62-214.2
<https://doi.org/10.32362/2500-316X-2022-10-2-35-42>



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

Применение комплексного метода для улучшения качества изготовления деталей приборов радиоэлектронной борьбы

А.В. Крюков [®]

ЦНИРТИ им. академика А.И. Берга, Москва, 107078 Россия

[®] Автор для переписки, e-mail: minyuc@yandex.ru

Резюме

Цель. Разработка технологических приемов, направленных на повышение конструктивной прочности изделий оборонного машиностроения, может осуществляться с помощью создания новых способов получения и обработки деталей или улучшения традиционных приемов на основе комплексного (синергетического) подхода. В статье приводится комплексный метод обработки поверхности деталей, оценки твердости и шероховатости поверхности исходной заготовки из сплавов системы Al-Mg для улучшения качества изготовления корпусов модулей изделия МСП-418К, относящегося к приборам систем радиоэлектронной борьбы.

Методы. Данный подход заключался в видении металлического материала как системы, подвергаемой цепочке технологических воздействий в химическом, термодинамическом и механическом взаимодействии своих составляющих. Заготовки получали методом обработки металла давлением по различным схемам и в различных температурных режимах, затем обрабатывали их лезвийным инструментом с использованием динамометра и исследовали полученный рез металлографическим способом по всему торцу от наружного диаметра к центру образца.

Результаты. На примере Al-Mg сплавов проведены эксперименты, позволившие обнаружить зависимость между параметрами изменения структуры обрабатываемого материала и стабильностью процесса обработки резанием, а также качеством поверхности при чистовом точении детали.

Выводы. Предложенные технологические решения на основе синергетического подхода обеспечили сбалансированное улучшение параметров материала за счет устранения недостатков исходного полуфабриката. На основании полученных опытных данных сделан вывод о том, что проводимая деформация заготовок по сложным схемам при пониженной температуре благотворно влияет на обрабатываемость металлического материала, упорядочивание структуры и повышает качество поверхности деталей. При применении синергетического подхода есть возможность исправить плохую технологическую наследственность свойств материалов, полученную на предыдущих операциях; повысить качество поверхности заготовок за счет сплошности обрабатываемого материала; улучшить прочностные свойства деталей ответственного и особо ответственного назначения. Благодаря полученным результатам на практике подвергнут изменению существующий технологический процесс изготовления детали «лепесток», который позволил улучшить ее технологические и технические характеристики.

Ключевые слова: обрабатываемость, отжиг, качество поверхности, нагрузка на режущий инструмент, структура материала, горячекатаные плиты, прессованный прут

• Поступила: 11.11.2021 • Доработана: 08.12.2021 • Принята к опубликованию: 01.03.2022

Для цитирования: Крюков А.В. Применение комплексного метода для улучшения качества изготовления деталей приборов радиоэлектронной борьбы. *Russ. Technol. J.* 2022;10(2):35–42. <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2022-10-2-35-42>

Прозрачность финансовой деятельности: Автор не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

RESEARCH ARTICLE

Application of an integrated method to improve the quality of manufacturing parts of electronic warfare devices

Anton V. Kryukov @

MIREA – Russian Technological University, Moscow, 119454 Russia

@ Corresponding author, e-mail: minyyc@yandex.ru

Abstract

Objectives. The development of technological methods with the purpose of increasing the structural strength of defense engineering products can be carried out by creating new methods for obtaining and processing parts or improving traditional methods based on an integrated (synergistic) approach. The article presents a complex method for surface treatment of parts and assessment of the hardness and surface roughness of the initial workpiece from alloys of the Al–Mg system to improve the quality of manufacturing the module cases of the *MSP-418K* product related to electronic warfare devices.

Methods. This approach consists in the vision of a metallic material as a system subjected to a chain of technological impacts in the process of chemical, thermodynamic, and mechanical interaction of its components. The workpieces were obtained by metal pressure treatment according to various schemes and temperature conditions. Then they were processed with a blade tool using a dynamometer. The resulting cut was examined using a metallographic method along the entire end face from the outer surface to the center of the sample of workpieces.

Results. Experiments were carried out for the case of Al–Mg alloys. It made it possible to reveal the relationship between the parameters of the change in the structure of the material being processed and the stability of the cutting process, as well as the quality of the surface during finishing turning.

Conclusions. The proposed technological solutions based on a synergistic approach provided a balanced improvement in material parameters by eliminating the shortcomings of the original semi-finished product. The obtained experimental data allowed concluding the deformation of workpieces according to complex schemes at low temperature has a beneficial effect on the machinability of the metal material, ordering the structure and improving the quality of the surface of the parts. Using a synergistic approach, it became possible to correct the poor technological heredity of material properties obtained in previous operations: the surface quality of the workpieces due to the continuity of the processed material and the strength properties of parts for critical and especially critical purposes were improved. The existing technological process for manufacturing the “petal” part was changed in practice using an integrated method, which made it possible to improve its technological and technical characteristics.

Keywords: machinability, annealing, surface quality, cutting tool load, material structure, hot-rolled plates, extruded bar

• Submitted: 11.11.2021 • Revised: 08.12.2021 • Accepted: 01.03.2022

For citation: Kryukov A.V. Application of an integrated method to improve the quality of manufacturing parts of electronic warfare devices. *Russ. Technol. J.* 2022;10(2):35–42. <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2022-10-2-35-42>

Financial disclosure: The author has no a financial or property interest in any material or method mentioned.

The author declares no conflicts of interest.

ВВЕДЕНИЕ

Радиоэлектронная борьба (РЭБ) – вооруженная борьба, в ходе которой осуществляется воздействие радиоизлучениями (радиопомехами) на радиоэлектронные средства систем управления, связи и разведки противника. Изделия РЭБ применяются для защиты электронного оборудования от воздействия на него мощного электромагнитного и акустического излучения, а также высокоточного оружия, оснащенного пассивными приборами самонаведения на источники радиоизлучения. Применение селективно направленного оружия против радиоэлектронных средств (РЭС), как правило, не приводит к катастрофическим разрушениям и невосполнимым потерям [1]. Такое оружие лишает радиоэлектронные устройства возможности нормального, штатного функционирования. К одному из таких изделий относится малая станция помех МСП-418К (рис. 1).

ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ WDM-МУЛЬТИПЛЕКСОРЫ/ДЕМУЛЬТИПЛЕКСОРЫ С МАЛЫМИ ИЗГИБНЫМИ ПОТЕРЯМИ

Станция предназначена для оснащения мишеней, авиационных ложных целей, индивидуальной и индивидуально-взаимной защиты малоразмерных летательных аппаратов, например, МиГ29, МиГ31 путем

создания преднамеренных активных помех радиоэлектронных средств управления оружием (РЭС УО), входящим в зенитно-ракетные, зенитно-артиллерийские и авиационно-ракетные комплексы. Данная станция относится к средствам радиоэлектронного подавления (РЭП) пятого поколения, так как позволяет существенно расширять боевые возможности авиации.

Станция обеспечивает одновременное создание преднамеренных прицельных активных помех не менее чем четырем РЭС УО, в том числе радиоголовкам самонаведения (РГСН), при разноте их несущих частот более 100 МГц. Чувствительность в диапазоне рабочих частот по входу для импульсного сигнала составляет не более 51 дБ Вт, для непрерывного сигнала, квазинепрерывного сигнала и длинного (импульсного) сигнала – не более 68 дБ Вт. Масса изделия составляет не более 170 кг, диапазон рабочих частот – от 4 до 18 ГГц.

Станция МСП-418К состоит из нескольких блоков, двух переключателей ПК-1-2, комплекта кабельных сборок ККС Л-281-1, комплекта низкочастотных жгутов КНЧЖ Л-281-1, комплекта аттенуаторов Кат Л-281-1, двух комплектов монтажных частей КМЧ Л-281-1, а также КМЧ (У) Л-281-1.

Изделие Л-281-1 построено на основе цифровой обработки сигналов с использованием технологии цифровой радиочастотной памяти и предназначено для противодействия РЭС УО, работающим

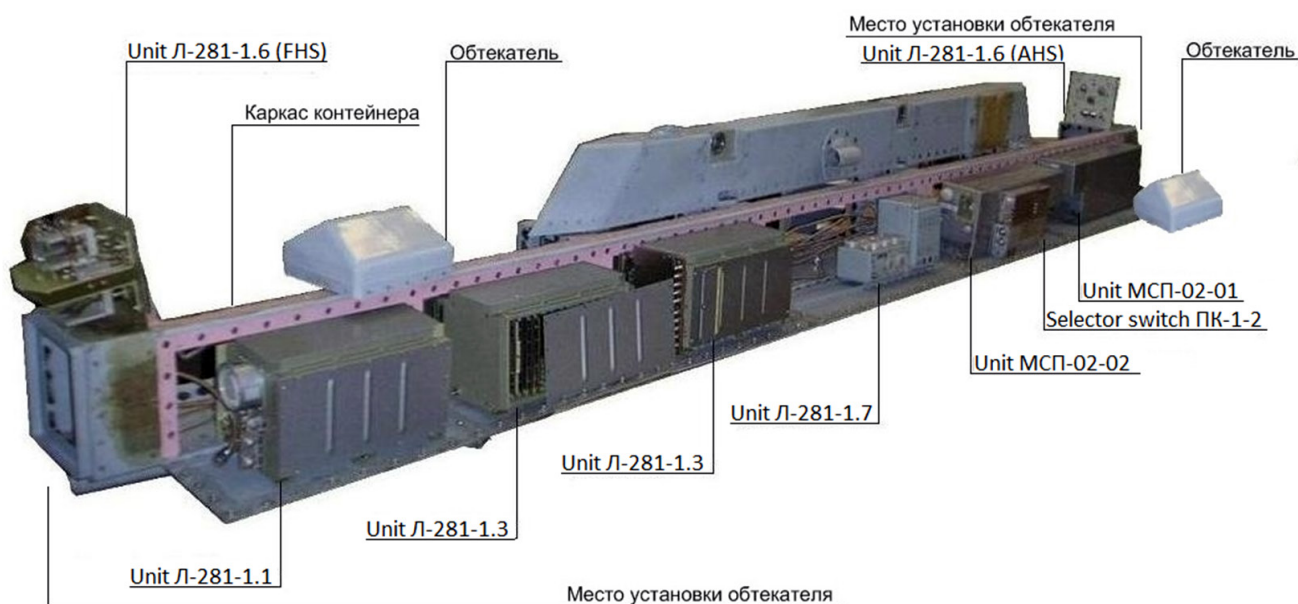


Рис. 1. Конструкция малой станции помех МСП-418К

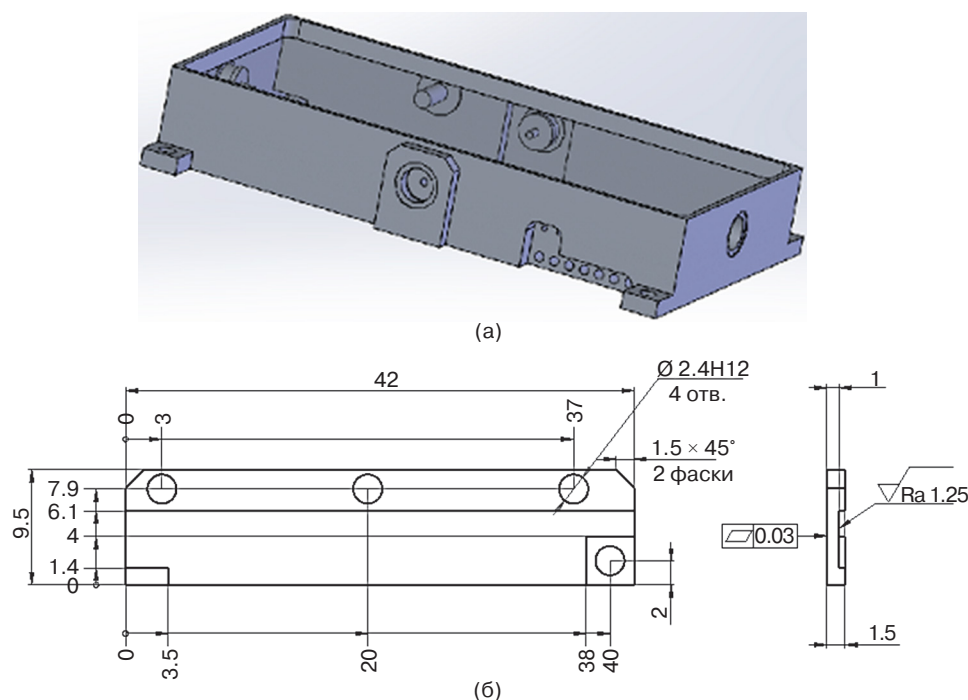


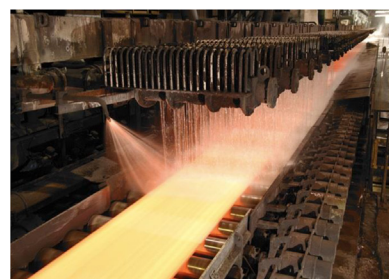
Рис. 2. Модель корпуса (а) и чертеж рамки (б) из МД-40

в импульсном, непрерывном, импульсно-доплеровском и длинноимпульсном режимах¹. В блоки станции входят различные типовые модули, которые состоят из корпуса и электронной начинки, а также типовых деталей микросборок (рис. 2).

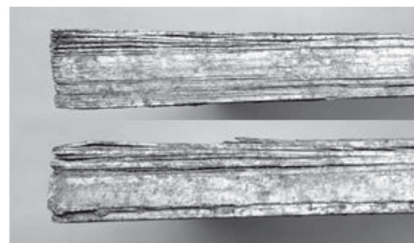
Эти детали относятся к классу ответственного и особо ответственного назначения. Они обеспечивают вакуумную плотность и геометрическую точность при полном сроке эксплуатации. При этом, несмотря на многолетнюю практику изготовления, распространенной причиной электрического пробоя и выхода из строя их электронной начинки являются нарушения вакуумной плотности корпусов и геометрии деталей микросборок [2].

Корпуса микросборок изготавливают из горячекатаных плит на основе алюминиевых сплавов системы Al-Mg (рис. 3а). Их применение обосновывается простотой технологического процесса^{2, 3}.

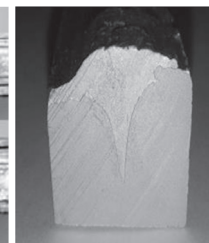
При этом не учитывается высокий уровень полученных в процессе прокатки внутренних напряжений в материале (рис. 3б), которые тем выше, чем больше толщина плиты [2, 3]. Кроме того, в структуре горячекатаных плит формируются «строчки» интерметаллидных фаз Mg_2Al_3 и Mg_5Al_8 , причем особенно активно это происходит в зонах локализации деформаций и разрыва их скоростей (рис. 3в) [4].



(а)



(б)



(в)

Рис. 3. Процесс изготовления корпусов микросборок из горячекатаных алюминиевых сплавов системы Al-Mg (а); результат расслоения плиты из-за межкристаллитной коррозии (б); дефект в материалах горячекатаной плиты (в)

¹ Малогабаритная станция активных помех МСП-418К (COMPACT JAMMER MSP-418K). Журнал оборонно-промышленного комплекса. 18.08.2009. URL: <http://bastion-karpenko.ru/compact-jammer-msp-418k/>, дата обращения 10.11.2021. [Compact JAMMER MSP-418K. Zhurnal oboronno-promyshlennogo kompleksa. 18.08.2009 (in Russ.). URL: <http://bastion-karpenko.ru/compact-jammer-msp-418k/>. Accessed November 10, 2021 (in Russ.).]

² ГОСТ 17232–99. Плиты из алюминия и алюминиевых сплавов. Технические условия. М.: Изд-во стандартов, 2000. 10 с. [GOST 17232–99. Aluminium and aluminium alloys plates. Specifications. Moscow: Izd. standartov; 2000. 10 p. (in Russ.).]

³ ГОСТ 4784–97. Алюминий и сплавы алюминиевые деформируемые. Марки. М.: Изд-во стандартов, 2001. 12 с.; изм. [GOST 4784–97. Aluminium and wrought aluminium alloys. Grades. Moscow: Izd. standartov; 2001. 12 p. Edited (in Russ.).]

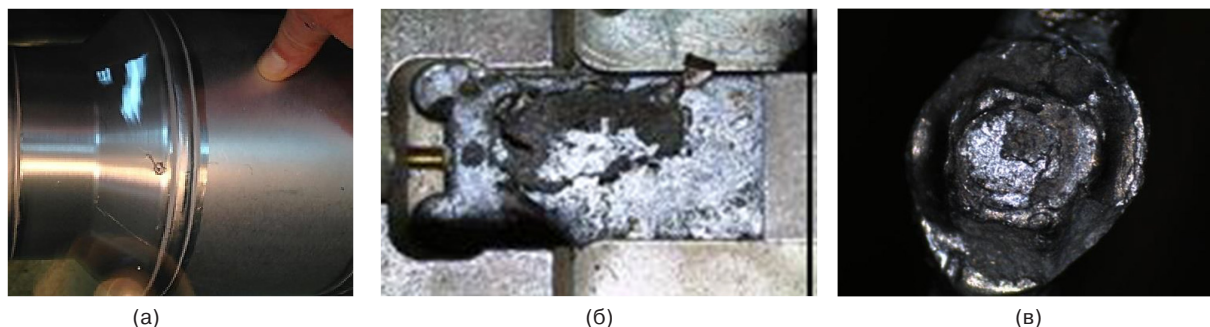


Рис. 4. Виды повреждений поверхности корпусов из-за «течи по материалу» корпуса (а); отслоения покрытия основного материала (б) и «течи по трещинам» (в)

Потеря герметичности корпусов микросборок, как показывает производственная практика [5], происходит из-за «течи по материалу» корпуса (рис. 4а), отслоения покрытия от основного материала (рис. 4б) или «течи по трещинам», образовавшимся в процессе химического никелирования корпуса и крышки микросборки перед пайкой (рис. 4в). Данной проблеме посвящен целый ряд работ, например, [6, 7], но в них не учитывается влияние структуры и свойств материала этих корпусов.

В статье [7] рассмотрен метод повышения качества готовых деталей блоков в изделии МСП-418К путем введения дополнительной технологической операции по оптимизации структуры исходного материала при изготовлении деталей РЭБ. Это позволяет исключить инвариантность наследственных факторов, полученных на предыдущих технологических операциях⁴.

С увеличением размера зерна повышается склонность металлического материала к разрушению из-за разделения фаз и термодиффузии веществ расплава, которая приводит к росту количества вытесняемых из объема дефектов и примесей. Пластическая деформация во время прокатки позволяет противостоять этому процессу [8]. Претерпевшие дополнительную деформацию заготовки обычно отличаются повышенными прочностными свойствами материала. В зависимости от предъявляемых к материалу заготовки требований назначается одна из рекомендованных ковочных схем и выбирается температура нагрева материала перед ковкой.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

На примере алюминиевых сплавов системы Al-Mg проведены эксперименты по применению комплексного технологического процесса изготовления деталей РЭБ. Технологический процесс

включает в себя ковку исходных прутковых заготовок по различным схемам Всероссийского научно-исследовательского института авиационных материалов ВИАМ (ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ) [9, 10] и температурным параметрам; стабилизирующий отжиг трех поковок при 320 °С в сравнении с тремя поковками, проведенными при температуре 420 °С, в течение 1 ч с последующим охлаждением каждой партии поковок на воздухе; обработку образцов на токарно-винторезном станке; динамометрические и металлографические исследования для измерения твердости и шероховатости обработанной поверхности образцов.

Изготовление детали в разных температурных режимах необходимо для увеличения прочностных свойств материала [11]. Количество дефектов и примесей в исходном материале растет с увеличением размера зерна. Дробление зерна в процессековки уменьшает содержание зернограницных примесей, делая материал детали более однородным и сбалансированным по свойствам.

Температура для стабилизированного отжига выбиралась в соответствии с рекомендациями ВИАМ. Рекомендованные температурыковки составляют 350–430 °С [12]. Однако на базе ранее проведенных исследований принято решение в эксперименте сделать ограничение температурыковки по верхнему и нижнему значениям: 420 °С и 320 °С, соответственно.

Исследования проводились на шести поковках (образцы № 1–6) с размерами $\varnothing 70 \times 140$ мм в сравнении с исходным материалом заготовки (прессованного прутка) размером $\varnothing 70 \times 120$ мм (образец № 0). Допустимая степень деформации при ковке на «молоте» кузнечно-прессового оборудования составляла 50% [11]. В электрической муфельной печи (SNOL) нагрев заготовки (образцов № 1–3) осуществлялся до температуры 420 °С, а образцов № 4–6 – до температуры 320 °С. Осадка составила до 60 мм.

После стабилизированного отжига образцы обрабатывались на токарно-винторезном станке 16К20 с использованием динамометра (рис. 5а). На рис. 5б показано, что при проточке по образующей

⁴ Ковка и штамповка деформируемых алюминиевых сплавов: Произв. инструкция ПИ 1.2.085–78. [Утв. ВИАМ]. 01.09.1978. 17 с. [Kovka i shtampovka deformiruemyykh alyuminievykh splavov: Proizv. Instruktsiya (Forging and stamping of wrought aluminum alloys: Prod. Instruction) PI 1.2.085–78. [Approved VIAM]. 01.09.1978. 17 p. (in Russ.).]

(диаметру) и по торцу экспериментальных образцов сила нагрузки на режущий инструмент (резец) распределена по трем координатам: P_x – сила подачи, P_y – радиальная сила и P_z – сила резания [7].

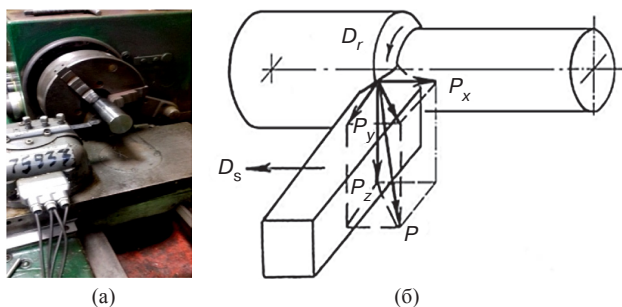


Рис. 5. Общий вид токарно-винторезного станка 16K20 с автоматизированным динамометром УДМ 600 (а); схематическое описание распределения силы нагрузки на резец во время обработки образцов на токарно-винторезном станке (б)

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Динамометрический метод исследования показал, что распределение сил нагрузки на режущий инструмент (резец) во время обработки образцов по трем координатам соответствует классическому их соотношению: величина силы подачи P_x изменяется в пределах от $\frac{1}{8}$ до $\frac{1}{4}$, а радиальная сила P_y – от $\frac{1}{4}$ до $\frac{1}{2}$ величины силы резания P_z . Сравнительные испытания в процессе токарно-механической обработки экспериментальных образцов (рис. 6а) с исходной прутковой заготовкой (рис. 6б) позволили установить, что при обработке образцов с одинаковой ориентированной структурой в материале, полученной ковочными операциями, удастся обеспечить наименьшую шероховатость обработанной поверхности. Это объясняется тем, что достигается более эффективное динамическое гашение колебаний при резании путем большой диссипативной силы сопротивления материала

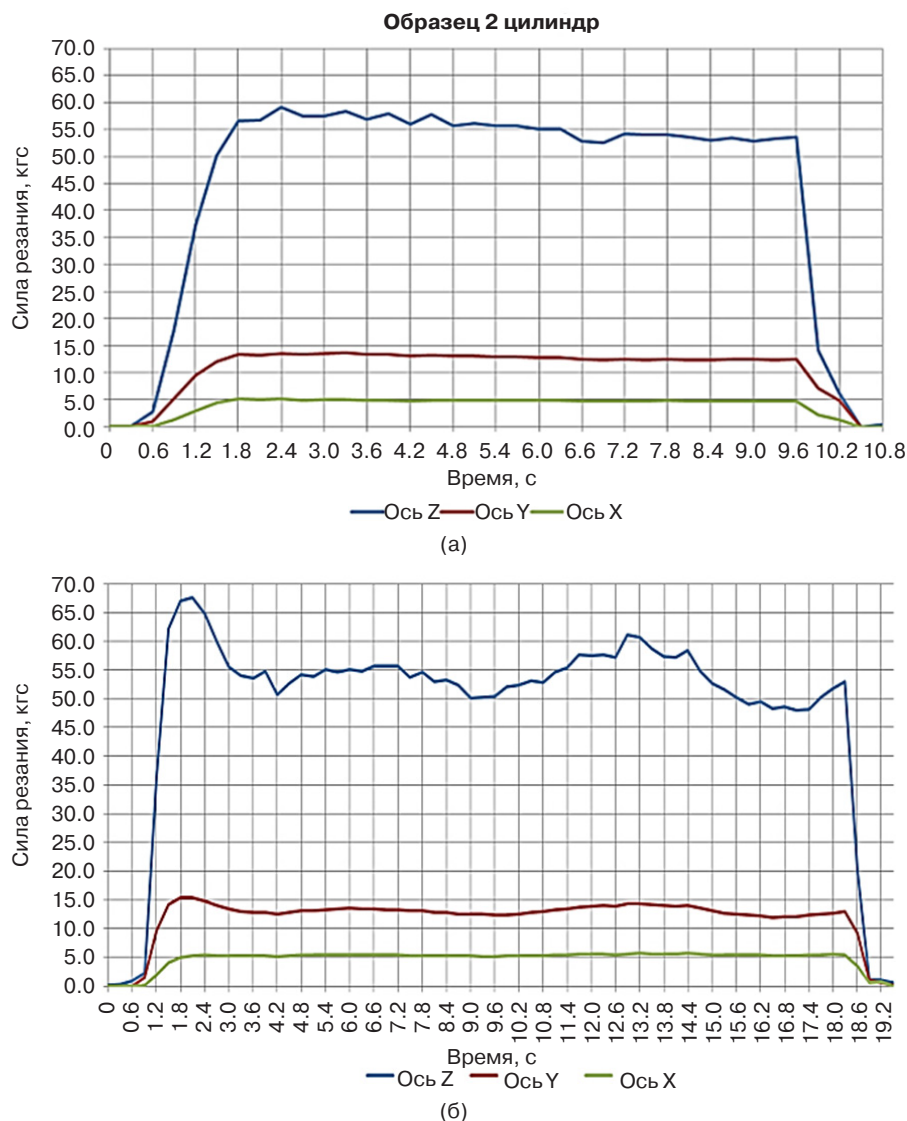


Рис. 6. График распределения шероховатости поверхности экспериментальных поковок (а) и исходной заготовки (б)

заготовки с ориентированной в разных направлениях текстурой деформационно-проработанного металла.

Сравнение микроструктуры и шероховатости (фактуры) поверхности исходной заготовки показало, что совпадение размера зерна и величины силы съема и подачи инструмента приводит к вырыву в материале исходной заготовки и налипанию материала на резец (рис. 7а). При этом вырыв обычно происходит у тройных стыков зерен, где имеются места скопления примесных фаз [13].

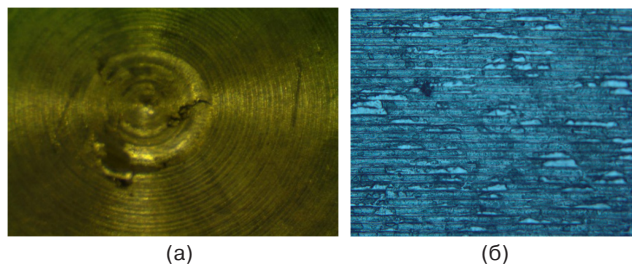


Рис. 7. Поверхность исходной заготовки с вырывом материала в процессе токарно-механической обработки и стружкой на ее поверхности (а); полученная послековки поверхность с прослойками включений (б)

В то же время увеличение плотности и твердости материала заготовок облегчает сход стружки и повышает качество их поверхности после проточки (рис. 7б). Вытянутые неметаллические включения, располагающиеся вдоль границ реза, слабо связаны с металлической матрицей или резко отличаются от нее по упругим характеристикам. Микроскопические несплошности металла вблизи границ неметаллических включений располагаются по-разному в отношении прикладываемого в процессе точения внешнего воздействия. Все данные несовершенства (прослойки включений) усиливают рассеивание энергии колебаний во время токарно-механической обработки экспериментальных образцов послековки.

Анализируя величину и характер нагрузок на резец при точении по образующей и по торцу

исходного прутка и экспериментальных поковок, а также шероховатость (фактуру) обработанной поверхности и твердость материала обработанных заготовок в различных точках, можно сделать некоторые выводы.

Во-первых, сила нагрузки на резец растет с увеличением поковки и уменьшением температуры деформации. При этом сила становится кинематической (равномерной) по сравнению с обработкой исходного материала заготовки.

Во-вторых, ковка по сложным схемам при пониженных температурах не только улучшает характеристики вакуумной плотности и коррозионной стойкости металлического материала, но и уменьшает шероховатость обработанной поверхности образцов. Напротив, чем меньше достигнутая деформационная проработка, тем крупнее зерно материала и цепочки интерметаллидных фаз, а также мягче материал образца и грубее его поверхность после механической обработки лезвийным инструментом на токарно-винторезном станке.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе представлен комплексный метод повышения качества изготовления деталей РЭБ на основе сплавов системы Al-Mg. Равномерная деформационная проработка позволяет получать сбалансированный комплекс технологических и специальных свойств. Хорошая обрабатываемость и качество поверхности заготовок резанием достигается повышенной твердостью материала заготовки одновременно с критически важными для ряда деталей стойкостью материала к развитию коррозионных процессов, его герметичностью и вакуумной плотностью.

Изготовление корпуса микросборки из полученной по схеме сложной ковки заготовки обеспечивает равномерное нанесение никелевого покрытия с минимальным уровнем сформированных в поверхностном слое материала заготовки растягивающих напряжений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Добыкин В.Д., Куприянов А.И., Пономарев В.Г., Шустов Л.Н. *Силовое поражение радиоэлектронных систем*. М.: Вузовская книга; 2007. С. 10–16.
2. Хади О.Ш., Литвинов А.Н. Моделирование напряженно-деформированного состояния корпусов микросборок в процессе их изготовления и эксплуатации. В сб.: *Динамика и прочность*. Избранные труды Всеросс. научн. конф. по проблемам науки и технологий. М.: РАН; 2013. С. 3–26.
3. Головкин П.А., Фесенко С.А., Крюков А.В. Управление механизмами деформации как инструмент

REFERENCES

1. Dobykin V.D., Kupriyanov A.I., Ponomarev V.G., Shustov L.N. *Silovoe porazhenie radioelektronnykh sistem (Force defeat of radio-electronic systems)*. Moscow: Vuzovskaya kniga; 2007. P. 10–16 (in Russ.).
2. Khadi O.Sh., Litvinov A.N. Simulation of the stress-strain state of microassembly housings during their manufacture and operation. In: *Dynamics and strength*. Proceedings. Moscow: Ross. Akad. Nauk; 2013. P. 3–26 (in Russ.).
3. Golovkin P.A., Fesenko S.A., Kryukov A.V. Deformation mechanism control as a tool to improve the quality of titanium alloy forgings. In: *Progressive developments of*

- повышения качества поковок из титановых сплавов. В сб.: *Прогрессивные разработки ученых – новым изделиям ракетно-космической техники*. Сб. научн. трудов. 2013. С. 189–194.
4. Степанов В.Г., Клецов М.И. *Поверхностное упрочнение корпусных конструкций*. Л.: Судостроение; 1977. 197 с.
 5. Дальский А.М., Базров Б.М., Васильев А.С. *Технологическая наследственность в машиностроительном производстве*. М.: Изд-во МАИ; 2000. 360 с. ISBN 5-7035-2322-2
 6. Горенский Б.М., Лапина Л.А., Любанова А.Ш. и др. *Моделирование процессов и объектов в металлургии*. Красноярск: Сибирский федеральный университет; 2008. 145 с. ISBN 978-5-7638-1266-4
 7. Литвинов А.Н., Хади О.Ш. Оценка точности приближенного метода определения допустимого давления для корпусов микросборок. В сб.: *Актуальные проблемы современного машиностроения*. Сборник трудов Междунар. научно-практ. конф. 11–12 декабря 2014 г. Юргинский технологический институт. Томск: Изд-во Томского политехнического университета; 2014. С. 191–194.
 8. Кишкина С.И., Фридляндер И.Н. (науч. ред.). *Авиационные материалы: справочник в 9 т. Т. 4. Алюминиевые и бериллиевые сплавы. Часть 1. Деформируемые алюминиевые сплавы и сплавы на основе бериллия*, Кн. 1. М.: ВИАМ; 1982. 628 с.
 9. Амосов И.С., Скраган В.А. *Точность, вибрации и чистота поверхности при токарной обработке*; под общ. ред. М.А. Ансеров. Л.: Машгиз; 1958. 91 с.
 10. Телешов В.В., Чурюмов А.Ю. Анализ влияния характеристик двухфазной матричной структуры на вязкость разрушения деформируемых алюминиевых сплавов. *Технология легких сплавов*. 2012;2:22–40.
 11. Головкин П.А. Повышение качества корпусов микросборок электронных СВЧ-приборов с использованием ковочных операций. *Технология машиностроения*. 2020;9:5–7.
 12. Крюков А.В., Волков А.В., Головкин П.А., Галкин В.И. Повышение качества корпусов микросборок электронных СВЧ-приборов за счет оптимизации структурных изменений. *Вестник РАЕН*. 2019;19(3):36–41.
 13. Вербовой Ф.П., Калугин А.А. и др. Зависимость качества поковок из сплава AlMg₆ от исходной заготовки и величины деформации при ковке. *Алюминиевые сплавы и специальные материалы. Сб. трудов. ВИАМ*. 1975. Вып. 9.
 - scientists – new products of rocket and space technology. Collection of scientific papers; 2013. P. 189–194 (in Russ.).
 4. Stepanov V.G., Klestov M.I. *Poverkhnostnoye uprochnenie korpusnykh konstruktii* (Surface hardening of hull structures). Leningrad: Sudostroenie; 1977. 197 p. (in Russ.).
 5. Dal'skii A.M., Bazrov B.M., Vasil'ev A.S. *Tekhnologicheskaya nasledstvennost' v mashinostroitel'nom proizvodstve* (Technological heredity in machine-building production). Moscow: MAI; 2000. 360 p. (in Russ.). ISBN 5-7035-2322-2
 6. Gorenskii B.M., Lapina L.A., Lyubanova A.Sh., et al. *Modelirovanie protsessov i ob'ektov v metallurgii* (Modeling of processes and objects in metallurgy). Krasnoyarsk: Siberian Federal University; 2008. 145 p. (in Russ.). ISBN 978-5-7638-1266-4
 7. Litvinov A.N., Khadi O.Sh. Estimation of the accuracy of an approximate method for determining the allowable pressure for microassembly bodies. In: *Actual problems of modern mechanical engineering*. Proceedings of the Intern. scientific and practical. conf. Tomsk: Tomsk. Politekh. Inst.; 2014. P. 191–194 (in Russ.).
 8. Kishkina S.I., Fridlyander I.N. (sci. eds.). *Aviatsionnye materialy: spravochnik v 9 t. T. 4. Alyuminievye i berillievye splavy. Chast' 1. Deformiruemye alyuminievye splavy i splavy na osnove berilliya* (Aviation materials: a reference book in 9 v. V. 4. Aluminum and beryllium alloys. Part 1: Wrought aluminum alloys and beryllium-based alloys). Moscow: VIAM; 1982. 628 p. (in Russ.).
 9. Amosov I.S., Skragan V.A. *Tochnost', vibratsii i chistota poverkhnosti pri tokarnoi obrabotke* (Accuracy, vibration and surface finish in turning). Anserov M.A. (Ed.). Leningrad: Mashgiz; 1958. 91 p. (in Russ.).
 10. Teleshov V.V., Churyumov A.Yu. Analysis of the influence of the characteristics of a two-phase matrix structure on the fracture toughness of wrought aluminum alloys. *Tekhnologiya legkikh splavov = Technology of Light Alloys*. 2012;2:22–40 (in Russ.).
 11. Golovkin P.A. Improving the microassemblies cases quality of the electronic microwave devices by using forging operations. *Tekhnologiya mashinostroeniya*. 2020;9:5–7 (in Russ.).
 12. Kryukov A.V., Volkov A.V., Golovkin P.A., Galkin V.I. Improving the quality of microwave electron microwave instruments – detailed at optimization of structural changes. *Vestnik RAEN = Bulletin of the Russian Academy of Natural Sciences*. 2019;19(3):36–41 (in Russ.).
 13. Verbovoi F.P., Kalugin A.A., et al. Dependence of the quality of forgings from the AlMg₆ alloy on the initial billet and the magnitude of the deformation during forging. *Alyuminievye splavy i spetsial'nye materialy* (Aluminum alloys and special materials). Sb. trudov. VIAM = Proceedings of VIAM. 1975. V. 9.

Об авторе

Крюков Антон Вячеславович, инженер-технолог, АО «ЦНИРТИ им. академика А.И. Берга» (107078, Россия, Москва, ул. Новая Басманная, д. 20, стр. 9). E-mail: minyuc@yandex.ru. <https://orcid.org/0000-0001-9840-1408>

About the author

Anton V. Kryukov, Process Engineer, Academician A.I. Berg Central Research and Development Institute (20-9, Novaya Basmanaya ul., Moscow, 107078 Russia). E-mail: minyuc@yandex.ru. <https://orcid.org/0000-0001-9840-1408>