

КРИТЕРИАЛЬНЫЙ ПОДХОД КАК СРЕДСТВО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЦЕЛЕВЫХ ПАРАМЕТРОВ ИЗДЕЛИЯ И ВХОДЯЩИХ В НЕГО ЧАСТЕЙ

П.А. Головкин, к.т.н.

АО «Плутон», 105120, Россия, г. Москва, ул. Нижняя Сыромятническая, д.11.

p.golovkin@pluton.msk.ru; тел.: (495) 730-36-19

CRITERIAL APPROACH AS A MEANS TO ENSURE THE TARGET PARAMETERS OF THE PRODUCT AND ITS PARTS

P.A. Golovkin, Ph.D. in Engineering Science,

JSC "Pluton", 105120, Russia, Moscow, st. Nizhnyaya Syromyatnicheskaya, h. 11.

p.golovkin@pluton.msk.ru; Phone: +7 (495) 730-36-19

Аннотация

Рассмотрены примеры применения критериального подхода, через определение целевых параметров, обеспечивающей достижение целевого параметра ответственных деталей и узлов электровакуумных СВЧ- приборов.

Ключевые слова: производство, целевой параметр, ответственные детали, характеристики, предпочтения, принятие решений, базис ответственности, поле допуска вероятности, СВЧ- приборы, вакуумная плотность, молибден, химический никель, припой, бескислородная медь, дефекты, примеси.

Annotaion

Examples of use of the criterial approach are examined through the determination of target parameters ensuring the achievement of target parameter of the critical parts and assemblies of electrovacuum microwave devices.

Key words: production, target parameter, critical parts, characteristics, preferences, decision making, basis of responsibility, tolerance range of probability, microwave devices, vacuum tightness, molybdenum, electroless nickel, solder, oxygenless copper, defects, impurities.

Общие положения

Традиционно в процессе производства изделий техники вид и допустимые способы изготовления деталей и готовых изделий на этапе разработки закладываются частично эмпирически, частично – на основе действующих рекомендаций и нормативов, десятилетия назад созданных на основе производственного опыта и интуиции разработчиков.

В советский период система организации предприятий в пределах своей специализации формировалась обычно как производство полного цикла. Директивно проводимая в последние годы крупными полугосударственными корпорациями политика формирования рассчитанных на проведение узкого ряда работ «центров компетенций», часто лишь усугубляет технологическую отсталость производственных систем, разрушая единую последовательность технологических переделов. Нарушается система сквозного производства, сквозного контроля разработчиков и производственников за влиянием технологических переделов на характеристики деталей и конечных изделий. При этом теряется направленность производственной системы на обеспечение целевых параметров входящих в изделия частей, теряется учёт синергетического эффекта [1], а изделия перестают быть идеологически цельными.

Построение производственной системы АО «Плутон» как разработчика и производителя специальных электровакуумных приборов СВЧ-диапазона, в значительной мере сохранившего замкнутую структуру, позволяет сохранить традиционный идеологический подход, заточенный на обеспечение заданного уровня критических показателей производимых изделий и входящих в него частей. Для этого решение каждой конкретной задачи может быть найдено в применении критериального подхода [2], то есть способа принятия одного из множества решений, реализующего достижение заданных показателей, целевых параметров, с наибольшей вероятностью.

Построение производственной системы, направленной на обеспечение целевых параметров изделия и входящих в него частей

При выборе идеологии построения производства изделий новой техники следует помнить, что цена ошибки тем выше, чем на более раннем этапе она появилась в процессе принятия управленческих решений. Должны быть учтены и другие основные характеристики изготавливаемой продукции и имеющегося производства. Как-то: серийность, материал и геометрия заготовок и конечных деталей, требуемая стабильность их геометрии и служебных свойств, возможность групповой обработки, перспектива смены конструктива деталей и т.д. С другой стороны, это: серийность и состояние собственного производства, наличие и стоимость оборудования, расход инструмента, наличие персонала, количество оборотных средств, и т.д.

На основании выбранных предпочтений строится направленная (рекуррентная) модель развития предприятия [3], проводится разработка предпочтений для обоснованного принятия управленческих решений [4].

Такая модель позволит обеспечить максимальный уровень характеристик деталей и узлов конечных изделий с учётом синергетического воздействия [1] на реологию их материалов. При этом логика предпочтений на каждом последующем шаге не должна противоречить логике предыдущих решений, в противном случае построение направленной системы будет нарушено. Достижение целевого параметра в соответствии с присвоенным базисом ответственности обезличит принятие управленческих решений, которые в настоящее время носят выраженный директивный характер, страдая от неравных полномочий экспертных лиц и лиц, принимающих решение [4]. Построение такой системы позволит фокусировать затраты на направлениях, обеспечивающих критически важные характеристики конечных изделий через параметры входящих в них деталей и узлов.

Так, на этапе металлургического передела, заготовительных и термических операций, технологические решения должны гарантировать получение заданной величины обеспечивающих эти характеристики целевых параметров. Эти параметры могут характеризоваться как комплексными, так и симплексными показателями, такими как прочность материала, размер и тип зерна металлического материала, вид и количество допустимых дефектов, нежелательных фаз и других. При этом вероятность их достижения должна соответствовать присвоенному детали базису ответственности – А, В, или S, исходя из назначения и важности детали или узла [4, 5].

В соответствии с заданным значением целевого параметра может быть определён набор технологических характеристик процесса получения готовой детали. Например, изготовление деталей из прутка, плиты, кованой или штампованной поковки, технологические режимы получения этих полуфабрикатов, и так далее. При этом сдерживающим фактором может быть, например, чистота обработки и свойства приповерхностного металлического материала детали, характеристики его фазовой структуры, вакуумная плотность, либо – затратность обработки. Критериальный подход может стать средством заточки управленческих и технологических решений на изготовление улучшенной продукции при наименьшем уровне издержек. Так может быть построен производственный процесс, обеспечивающий достижение требуемых значений целевых параметров с заданной вероятностью. Пример построения системы, направленной на обеспечение целевого параметра, приведён на рисунке 1.

Небольшая доля затрат, приходящихся на заготовительные операции, открывает широкие возможности построения технологических процессов изготовления деталей и конечных изделий в соответствии с присвоенным им базисом ответственности.

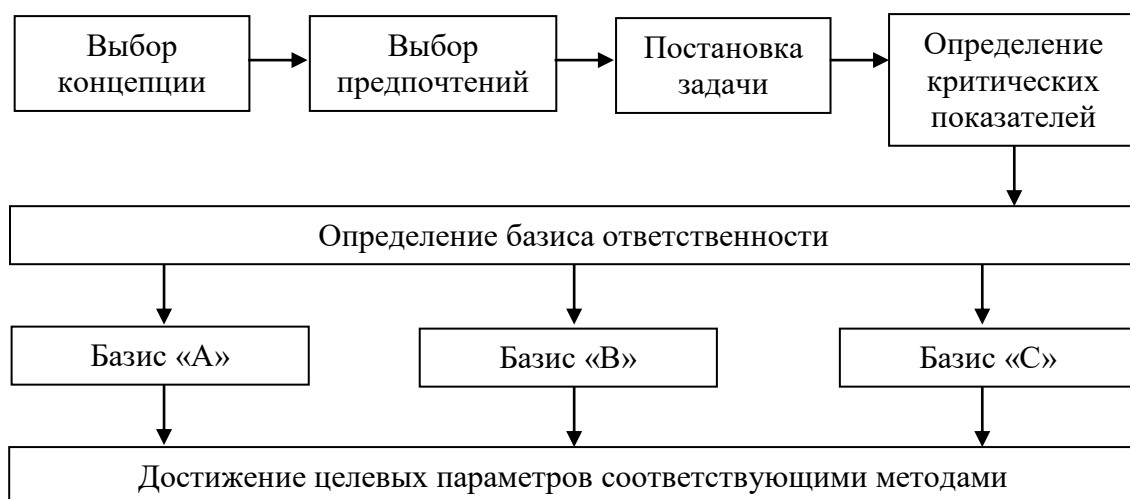


Рис. 1. Построение системы, направленной на обеспечение целевого параметра

При этом вероятность отклонения целевого параметра [4], может быть оценена одним из стандартизированных методов распределения: нормального, экспоненциального, или Вейбулла–Гнеденко. Параметры технологических процессов могут быть оптимизированы для достижения заданных целевых параметров в соответствии с присвоенным базисом ответственности готовой детали и всего изделия на принципах динамического программирования Беллмана [6].

Примеры критических параметров деталей и узлов из различных металлических материалов, применяемых в производстве СВЧ-приборов

Для различных групп ответственных деталей и изделий, в которые они входят, эффективным способом повышения технологических и рабочих характеристик является критериальный подход [2], обеспечивающий получение заданного уровня признанных критическими целевых параметров [4]. Например, в процессе производства специальных вакуумных СВЧ-приборов одной из основных проблем является обеспечение заданного уровня вакуумной плотности ответственных деталей и узлов. Необходимо обеспечить их рабочее состояние до 1000 рабочих часов в течение 15 лет [7]. Рассматривая эту задачу уместно привести пример повышения качества материала прутков из немагнитного сплава вакуумной плавки марки НММц38-2В типа монель методом горячего газостатирования, в результате которой вакуумная плотность материала прутка и получаемых деталей выросла качественно [8].

Важно отметить, что разгерметизация и выход из строя дорогостоящих конечных изделий могла произойти намного позднее момента, когда их предпосылки можно было бы обнаружить в процессе производства [8]. Пример структуры прутка из сплава НММц38-2В до и после операции газостатирования, приведены на рисунке 2. Горячее газостатирование эффективно залечивает в исходном прутке протяжённые газовые поры, препятствуя разгерметизации и натеканию газов из металлического материала в рабочую полость СВЧ-прибора. В данном случае определение критических характеристик, определяющих надёжность изделия, через обеспечение заданного уровня целевых параметров его деталей, при минимальных затратах качественно повышает надёжность СВЧ-приборов и систем, в которые они входят.

Рассматривая пути повышения вакуумной плотности узлов СВЧ-приборов, можно привести пример улучшения качества паяных соединений молибденовых деталей припоем марки ПЗлМ 94В [9]. В данном случае повышение характеристик паяного соединения достигается специальным образом проведённой деформационной проработкой материала исходного прутка, и далее, перед пайкой – отжига. В результате минимизации энергетического контраста материала поверхности входящих в паяный узел деталей обеспечивается более равномерное нанесение технологического покрытия в процессе химического никелирования, и как следствие – распределение припоя [9].

Пример поверхности детали из молибдена марки МЧВП с покрытием Хим. НЗ и фактура нанесённого на неё припоя ПЗлМ 94В без проведения выше указанных операций, и после их проведения, представлены на рисунке 3. Предложенная обработка улучшает нанесение химического покрытия, делает более равномерным распределение дорогостоящего припоя и уменьшает его расход. Таким образом, совершенствование материала заготовок на ранних этапах технологического процесса при минимальных затратах не только повышает качество деталей и узлов конечного дорогостоящего изделия, но и повышает его надёжность [9].

Ещё одной иллюстрацией основанного на критериальном подходе технологического решения является дополнительная деформационная проработка заготовок из бескислородной меди М0Б. Детали из этого материала должны обеспечивать необходимую вакуумную плотность и минимальное газовыделение в процессе всего срока службы СВЧ-прибора [10]. Однако предназначенные для их изготовления прессованные полуфабрикаты, изготовленные в соответствии с ГОСТ, не в полной мере отвечают этим требованиям, в данном случае являющимися целевыми.

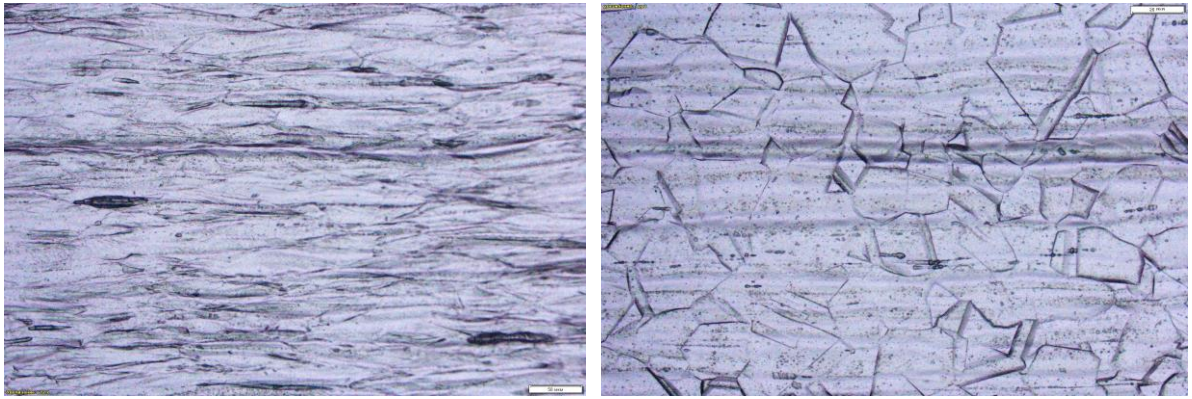


Рис. 2. Протяжённые газовые свищи до газостатирования (слева) и их разобщённые остатки после проведения этой операции (справа) в сплаве НММц38-2В, $\times 100$

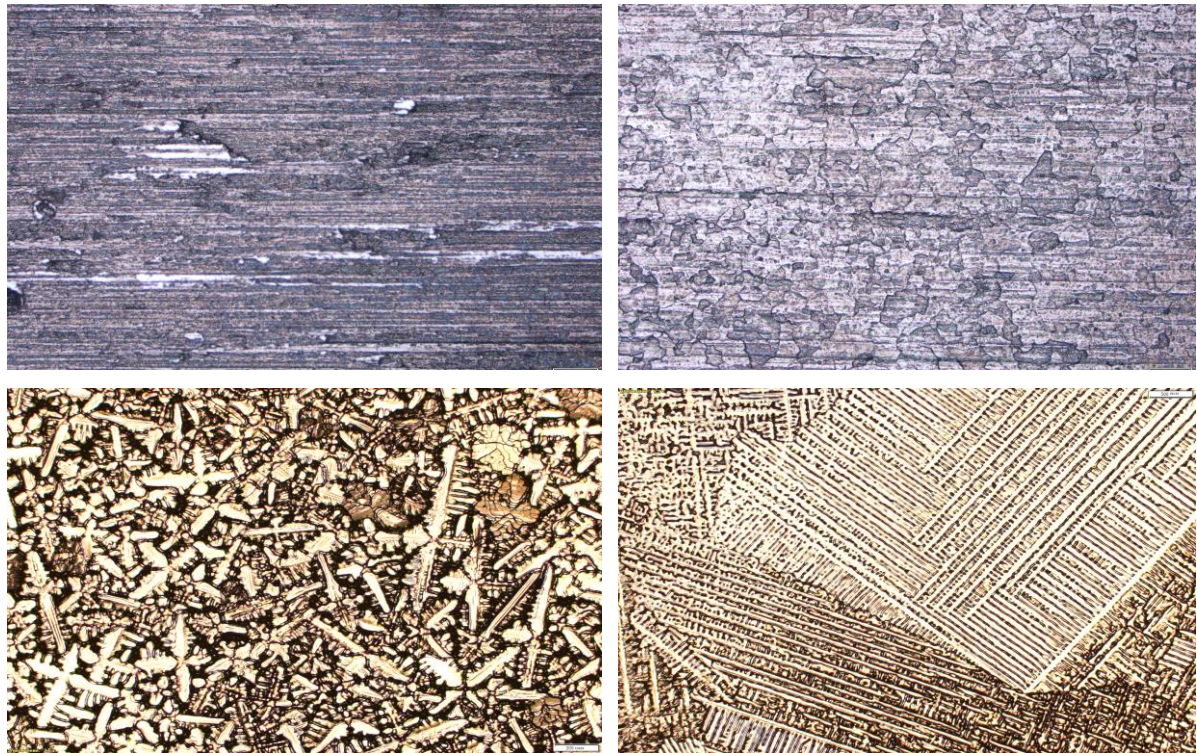


Рис. 3. Поверхность детали из сплава МЧВП с покрытием Хим.НЗ и нанесённым на него припоем ПЗлМ 94В по базовой (слева) и предлагаемой (справа) технологии, $200\times$.

Дело в том, что в медных прутках часто имеют место так называемых «кольцевые и полукольцевые оттенки», хорошо различимые как в продольных, так и на поперечных шлифах. Эти «оттенки» согласно ГОСТ не являются браковочным признаком, однако, в действительности, являются следствием разрыва скоростей деформации в процессе прессования прутков [10].

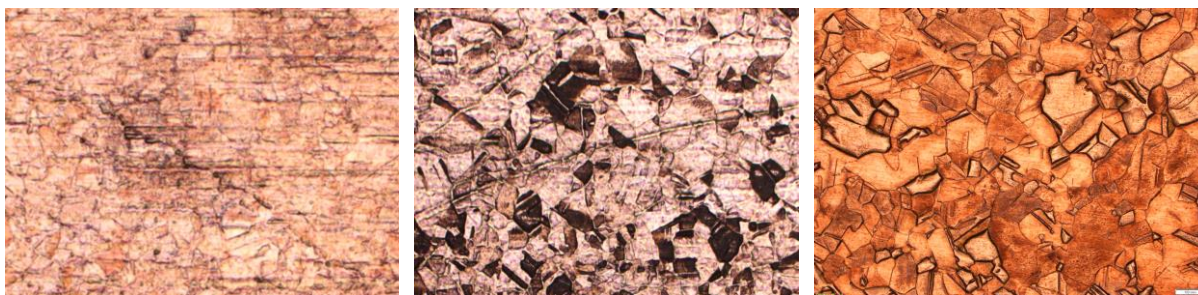


Рис. 4. Расслоение (слева) и заполненные эвтектикой трещины (в центре) в зоне разрыва скоростей, $\times 100$, и качественная структура поковки из меди М06 (справа), $\times 200$

Металлический материал в зоне «оттенков» насыщен разного рода дефектами и примесями, загрязняющими вакуумную рабочую область СВЧ-прибора, и нарушающими её вакуумную плотность [7, 10]. Помимо этого, высокий уровень напряжений в этих зонах вызывает расслоения материала прутка, как это показано на рисунке 4. Показанные трещины в зонах разрыва скоростей деформации прутка из бескислородной меди М06, заполнены кристаллитами висмута с температурой плавления $271,44^{\circ}\text{C}$ [7], эвтектикой висмут-свинец BiPb с температурой плавления 124°C , а также селенидом и теллуридом меди CuSe и CuTe с температурами плавления 220°C и 450°C соответственно. Все эти температуры находятся в пределах температур рабочей зоны СВЧ-прибора, и напрямую влияют на его работоспособность.

Это значит, что изготовление вакуумноплотных деталей из стандартного прутка в состоянии поставки не может обеспечить качество изделия. То есть, отсутствие трещины в зонах разрыва скоростей деформации являются критерием работоспособности и надёжности прибора, и с ними необходимо бороться. И одно из решений такой задачи находится в проведении элементарных кузнечных операций, поскольку материал поковки структурно и химически более однороден, и потому такая заготовка в большей мере соответствует заданным требованиям.

Приведённые примеры показывают, что, выявляя критически важные показатели в изделиях, и далее – в их узлах и деталях, можно определить уже необходимые для них критерии соответствия, и значения критических целевых параметров, обеспечиваемых с заданной степенью вероятности. На основании этой критериальной схемы производства, с минимальными затратами, могут быть разработаны технологические и управленческие решения, в наиболее полной степени соответствующие идеологии производимой продукции.

Выводы

1. На различных этапах технологического передела может быть обеспечено математическое обоснование принятия того или иного управленческого решения, направленного на обеспечение критических характеристик (параметров) готовых деталей (изделий) с вероятностью ошибки не выше заданной.

2. Определив критические параметры для входящей в изделие детали или узла, можно оптимизировать технологический процесс и построение производственной системы таким образом, чтобы обеспечить заданный уровень таких целевых показателей, как вакуумная плотность, и другие.

Применительно многих деталей и узлов электровакуумных СВЧ-приборов, такие решения целесообразно осуществлять на этапе проведения заготовительных и термических операций, включая ковку и газостатирование. Тогда заданный уровень целевых показателей может быть достигнут с наименьшим уровнем затрат.

3. Процесс изготовления высокотехнологичных изделий ответственного назначения, целесообразно осуществлять в рамках замкнутой производственной системы. В противном случае может быть утеряна единая идеология конечного изделия, как следствие – снизиться его рабочие характеристики и надёжность.

4. По мере накопления реологических данных по материалам и влиянию параметров технологического передела на их целевые характеристики в деталях и узлах различных базисов ответственности, концепция обоснования управленческого решения как средства обеспечения целевого параметра будет совершенствоваться. В идеале, учёт реологии заготовок (изделий) в производстве ответственных изделий должен прийти на смену директивному подходу при принятии управленческих решений.

Библиографический список

1. В.С. Иванова / Синергетика. Прочность и разрушение металлических материалов / –М.: Наука, –1992. 160 с.

2. Л.А. Трофимова, В.В. Трофимов / Методы принятия управленческих решений / учебное пособие / –С.-Пб.: Издательство СПб ГУЭФ, 2012. -101 с.

3. С.Н. Поезжалова, С.Г. Селиванов, О.А. Бородкина, др. / Рекуррентные нейронные сети и методы оптимизации проектных технологических процессов в АСТПП машиностроительного производства / –Уфа.: Вестник УГАТУ, Автоматизация и управление технологическими процессами. Т 15, № 5 (45). с. 36...46.

4. ГОСТ Р 50779-2007 / Статистические методы. Критерий согласия и доверительные интервалы для распределения Вейбулла / –М.: Стандартинформ, 2006. -12 с.
5. С.И. Ребров, В.Г. Кармазин, И.В. Соколов, др. / Повышение надёжности электронных приборов СВЧ в процессе их производства / Сб. тр. под ред. С.И. Реброва / –М.: Научно–исследовательский институт электронной техники, 1968. -320 с.
6. Прикладные задачи динамического программирования / Р. Беллман, С. Дрейфус / –М.: «Наука», 1965. -460 с.
7. Н.В. Черепнин / Вакуумные свойства материалов для электронных приборов / –М.: Советское радио, 1966. -352 с.
8. Головкин П.А., Логачёв А.В. / Повышение качества прутков из сплава вакуумной плавки марки НММц38-2В методом газостатирования / –М.: Заготовительные производства в машиностроении, том 20, № 7, 2022, с. 328...332.
9. Головкин П.А. / Повышение качества соединения деталей из молибдена марки МЧВП электровакуумных СВЧ- приборов припоем ПЗлМ 94В / –М.: ООО «НАКС Медиа», Сварка и диагностика, 2020, № 4, с. 32...35.
10. Головкин П.А. / Повышение качества деталей из бескислородной меди для электровакуумных приборов СВЧ-диапазона / –М.: Технология машиностроения, 2020, № 5, с. 34...41.