

## Машиностроение Mechanical engineering

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 621.9

doi: 10.30987/2782-5957-2023-10-4-12

### КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ШТАМПОВОЙ ОСНАСТКИ

Александр Владимирович Хандожко<sup>1✉</sup>, Андрей Николаевич Щербаков<sup>2</sup>, Светлана Олеговна Федонина<sup>3</sup>, Нина Юрьевна Лакалина<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Брянский государственный технический университет, Брянск, Россия

<sup>1</sup> chandosh@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0604-8537>

<sup>2</sup> taiga78@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1485-0415>

<sup>3</sup> fedonina.sv2015@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0472-4845>

<sup>4</sup> ninalakalina@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4947-2431>

#### Аннотация

Рассмотрены вопросы обеспечения качества штамповой оснастки для изготовления мелкоразмерных деталей из листового материала для радиотехники и микроэлектроники. Выполнен анализ характерных видов повреждения основных деталей штампов, а также причин их возникновения. Развитие станкостроения определяет тенденции изменений в технологии изготовления деталей штампов. При этом возрастает роль электрофизических и электрохимических методов обработки. Их используют, зачастую заменяя, традиционные методы об-

работки лезвийным и алмазно-абразивным инструментом. При этом не всегда учитываются отдельные составляющие макро- и микрогеометрии деталей и качества поверхностного слоя. В статье рассмотрены некоторые погрешности, которые не всегда учитываются при технологической подготовке производства, изготовлении деталей и их контроле.

**Ключевые слова:** оснастка, технология, изготовление, микрогеометрия, поверхность, качество, слой, детали.

Ссылка для цитирования:

Хандожко А.В. Конструкторско-технологическое обеспечение качества штамповой оснастки / А.В. Хандожко, А.Н. Щербаков, С.О. Федонина, Н.Ю. Лакалина // Транспортное машиностроение. – 2023. - № 10. – С. 4-12. doi: 10.30987/2782-5957-2023-10-4-12.

Original article

Open Access Article

### DESIGN PROVISION OF DIE TOOLING QUALITY

Aleksandr Vladimirovich Khandozhko<sup>1✉</sup>, Andrey Nikolaevich Shcherbakov<sup>2</sup>, Svetlana Olegovna Fedonina<sup>3</sup>, Nina Yuryevna Lakalina<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Bryansk State Technical University, Bryansk, Russia

<sup>1</sup> chandosh@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0604-8537>

<sup>2</sup> taiga78@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1485-0415>

<sup>3</sup> fedonina.sv2015@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0472-4845>

<sup>4</sup> ninalakalina@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4947-2431>

#### Abstract

The issues are considered in order to ensure the die tooling quality to manufacture small-sized parts made of sheet material for radio equipment and microelectronics. Typical damage to the main parts of

dies, as well as their causes are analyzed. The development of machine-tool construction determines the trends of changes in the technology of manufacturing die parts. At the same time, the role of electro-physical

and electrochemical machining methods increases. They are used, often replacing traditional methods of machining with blade and diamond-abrasive tools. At the same time, individual components of the macro- and micro-geometry of parts and the quality of the surface layer are not always taken into account. The paper

*Reference for citing:*

*Khandozhko AV, Shcherbakov AN, Fedonina SO, Lakalina NYu. Design provision of die tooling. Transport Engineering. 2023;10:4-12. doi: 10.30987/2782-5957-2023-10-4-12.*

## **Введение**

Холодная штамповка является основным методом получения деталей из листового материала. В особой мере это относится к электротехнической, радиотехнической промышленности, деталям микроэлектроники. Корпусные детали, контакты, выводы востребованы в объемах, характерных для массового производства. Детали имеют высокую точность, жестко регламентированы дефекты в зоне разделения материала (заусенцы, утяжки и др.). Современные высокоскоростные прессы, используемые для этих целей, работают с высокой скоростью (до нескольких тысяч циклов в минуту). Это накладывает повышенные требования на штамповую оснастку. Она должна иметь высокую стойкость, надежность, обеспечивать качество производимых изделий на всем этапе эксплуатации. Как правило, такие штампы многопозиционные и комбинированные, что повышает требования к точности их отдельных деталей. В связи с этим стоимость сложных штампов может быть сопоставимой со стоимостью технологического оборудования (станков или прессов). Изготовление таких изделий требует использования специального станочного оборудования, средств контроля, высокой квалификации персонала. В связи с этим руководство многих предприятий отказалось от поддержки инструментального производства, перейдя к закупке штамповой оснастки или даже готовых штампованных изделий, в том числе и за пределами РФ. Современные условия поставили ряд жестких ограничений на такие закупки. Поэтому в последнее время возрос интерес к восстановлению (созданию) инструментального производства, а также накопле-

discusses some errors that are not always considered during the technological preparation of production, the manufacture of parts and their control.

**Keywords:** tooling, technology, manufacturing, micro-geometry, surface, quality, layer, parts.

нию опыта разработки и изготовления штамповой оснастки.

При реализации этой тенденции развития производства необходимо учитывать изменения в структуре станочного парка инструментальных производств, изменения технологических возможностей станков, новой практики использования отдельных операций и структуры технологического процесса изготовления наиболее ответственных деталей штампов. Такие производства создают часто на базе прежних инструментальных цехов, сохранивших оснащение, кадры, дополняя их современным станочным и иным оборудованием. Рациональное использование имеющихся возможностей в сочетании с новыми технологическими решениями способно в значительной мере решить задачу производства названной штамповой оснастки необходимого качества.

Качество ответственных деталей штампов, особенно для малоразмерных деталей определяется комплексом параметров. Эти параметры необходимо и обеспечивать, и контролировать. Обеспечение качества требует наличие развитого современного технологического оборудования и хорошего метрологического обеспечения.

Формообразующие детали изготавливают либо из инструментальных сталей, либо из твердых сплавов. При этом объемы использования твердых сплавов постоянно возрастают, что требует изменений в конструкции штампов и соответствующих технологических решений.

С учетом высокой стоимости штамповой оснастки, жестких требований к её стойкости большое внимание должно уделяться материалам заготовок. Работа без

должного входного контроля этого параметра может приводить к непредсказуемым технико-экономическим последствиям. Для применяемых инструментальных заэвтектоидных и ледебуритных сталей кроме химического состава необходимо контролировать структуру, чем пренебрегают многие создаваемые производства. Эти материалы склонны к образованию карбидной сетки и другим термиче-

ским дефектам. Исследования выборки деталей серийно используемых штампов показали, что во многих случаях не обеспечивается желаемая зернистость, балл карбидной неоднородности, неметаллические включения. На рис. 1 показаны характерные дефекты структуры (сталь X12M после прохождения всех термических операций).

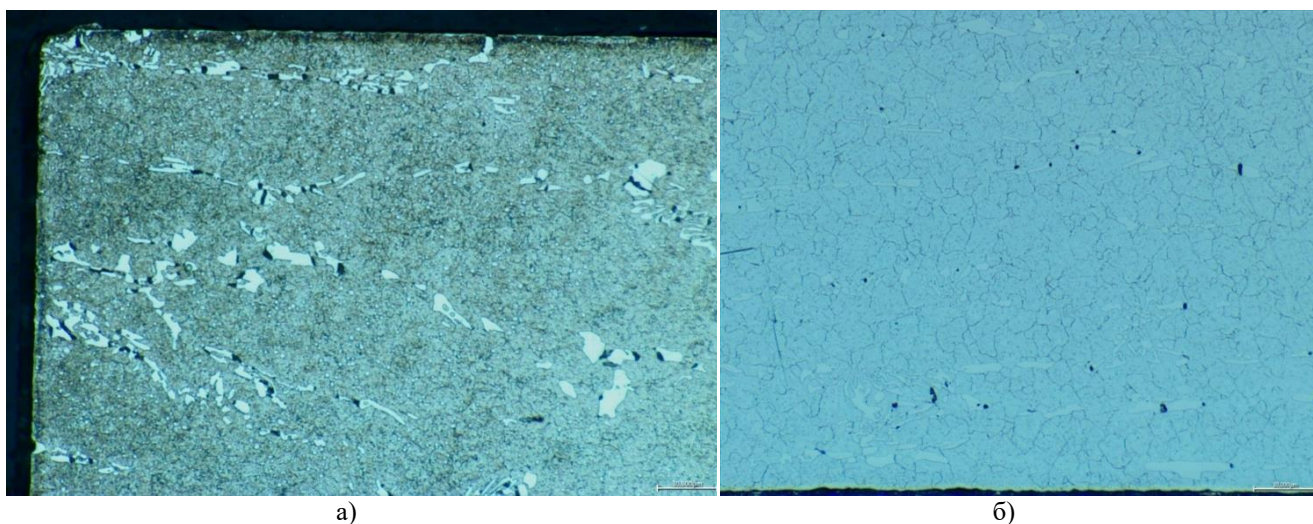


Рис. 1. Характерные дефекты структуры: а) карбидная неоднородность; б) неметаллические включения  
 Fig. 1. Characteristic defects of the structure: a) carbide heterogeneity; b) non-metallic inclusions

В ходе исследований было установлено, что структура стали даже в пределах одной партии поставки может существенно отличаться. Характерный пример микроструктуры с различным распределением

карбидов показан на рис. 2. В одном образце карбиды распределены равномерно (рис. 2а), на структуре, показанной на рис. 2б, частично сохранилась карбидная сетка.

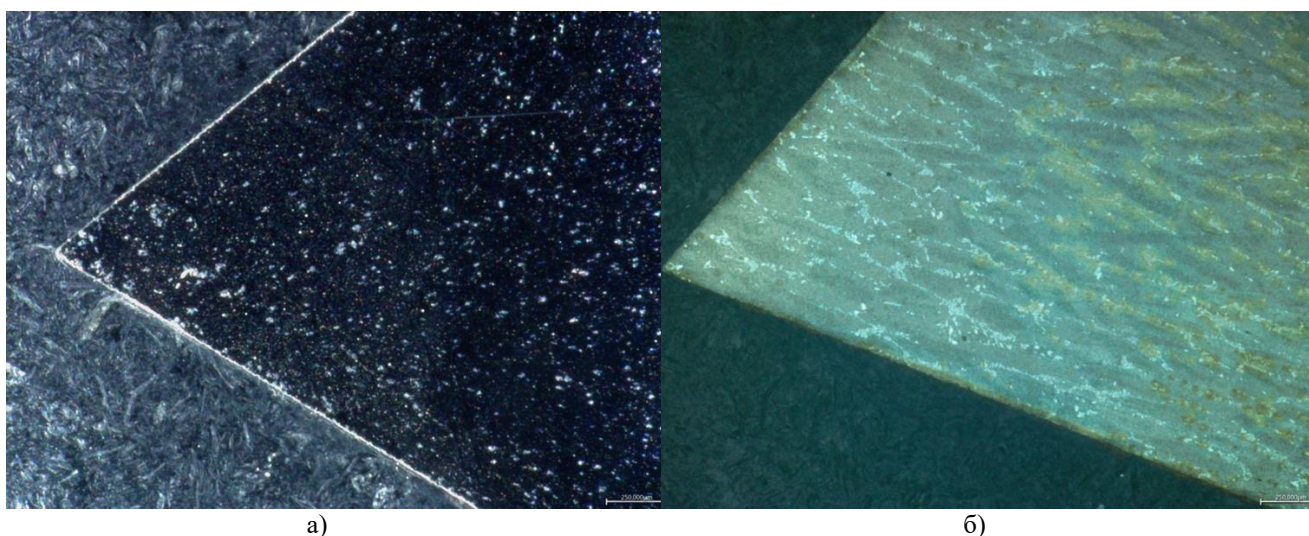


Рис. 2. Карбидная неоднородность материала пуансонов (X12M, одинаковая термообработка)  
 Fig. 2. Carbide heterogeneity of the punch material (X12M, the same heat treatment)

Традиционные подходы к использованию инструментальных сталей в боль-

шинстве своем предполагали обязательный контроль структуры поставляемого

материала согласно ГОСТ 5950-2000 (или его ранних версий). По результатам анализа принималось решение о возможности допуска этого материала в производство или включение в техпроцесс операций по снижению балла карбидной неоднородности и другого улучшения структуры. Такие операции (гомогенизирующий отжиг, ковка) позволяют снизить балл карбидной неоднородности на 1-3 единицы [1]. Сегодня этот этап контроля многие производители не выполняют, полагаясь на обеспечение требуемых характеристик производителем металлопродукции. Анализ образцов поставляемых инструментальных штампов показал, что отказ от имевшейся практики включения в технологию обязательных специальных операций по снижению балла карбидной неоднородности, можно считать допустимым только при использовании порошковых сталей, сталей, полученных электрошлаковым переплавом. Но даже в этом случае целесообразно сохранить операции контроля микроструктуры материала.

При разработке технологии изготовления штампов и создании его технического обеспечения следует учитывать современные тенденции, определяемые новыми возможностями станочного оборудования. Важнейшую роль играет значительный рост производительности и точности электроэрозионной обработки и соответствующего станочного оборудования.

Возможность получения поверхностей этим методом с точностью и шероховатостью, присущей алмазно-абразивной обработке, изменила практику формирования типового маршрута обработки ответственных деталей штампов (плит, пуансонов, матриц и др.). Высокая точность оборудования позволяет практически полностью отказаться от схемы совместной обработки (подгонки) сопрягаемых деталей (пуансонов, матриц и др.).

Традиционный маршрут изготовления большинства деталей штампа: заготовительные операции, механическая обработка, термическая обработка, шлифовальные операции, слесарные (доводочно-полировальные) операции, существенно изменен. Доля механической обработки,

выполняемой до термообработки, существенно уменьшилась.

Формирование рабочих и базировочных поверхностей выполняется после основной термической обработки на станках проволочной резки и электроэрозионных станках, использующих профильные электроды. Это позволяет, в значительной мере, решать проблемы, связанные с деформациями, возникающими в ходе термических операций. Электроэрозионная обработка базировочных и рабочих поверхностей выполняется после основной термической обработки, что исключает задачи доработки точных поверхностей и удаления обезуглероженного слоя. Кроме того, уменьшается вероятность возникновения трещин и иных дефектов термической обработки, так как закаливают исходные заготовки правильной формы (цилиндрические, призматические), а не предварительно обработанные, имеющие большое число концентраторов напряжений (пазов, отверстий).

После восстановления правильности формы (плоское шлифование по контуру), закаленная заготовка обрабатывается на электроэрозионном станке, преимущественно проволочным электродом. С одного станка обрабатываются практически все функциональные поверхности (базировочные, рабочие). Это позволяет существенно минимизировать влияние погрешности установки на общую погрешность детали, а в ряде случаев и исключить это влияние совсем. Правильная организация процесса обработки, подбор режимов, сочетания черновых и чистовых проходов позволяют обеспечивать точность размеров соответствующую (или близкую) требованиям чертежа детали. При необходимости точность размеров и требуемую шероховатость можно обеспечить за счет введения в цикл обработки одного или нескольких зачистных проходов.

Однако при многократном обходе поверхности электродом возрастает глубина дефектного слоя на поверхности [2, 3]. На рис. 3 показаны режущие кромки после электроэрозионной обработки, на которых выявлен дефектный слой толщиной 10-12 мкм.

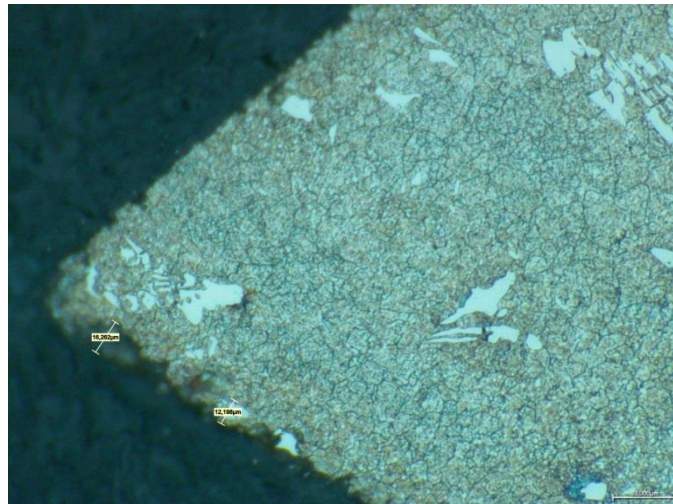


Рис. 3. Структура материала вблизи режущей части,  $\times 1500$   
 Fig. 3. The structure of the material near the cutting part,  $\times 1500$

Кроме характерных для электроэрозионной обработки лунок в дефектном слое происходят химические процессы, в том числе коррозионного характера [1]. Это явление наблюдается не только для сталей, но и для твердых сплавов. При использовании деталей без удаления этого слоя из-за быстрого износа расчетные зазоры между пуансоном и матрицей не будут обеспечены. Для штампов, обрабатываемых материалы с толщиной менее 0,3 мм и зазорами до 0,01 мм, наличие дефектного слоя такой толщины нежелательно, а с точки зрения выпуска высококачественной продукции недопустимо.

Кроме того, как показывает практика, во многих случаях даже многопроходная обработка не всегда может решить задачи обеспечения всех параметров точности деталей. В первую очередь это касается по-

грешностей формы обрабатываемых поверхностей, возникающих в ходе электроэрозионной обработки проволочным электродом. Колебания проволоки приводят к отклонениям от плоскостности, которые не всегда фиксируются и учитываются. Также возможны деформации деталей малой жесткости под действием внутренних остаточных напряжений.

С целью уточнения возможности обеспечения точности деталей, полученных электроэрозионной обработкой, были проведены исследования на примере нежестких пуансонов разделительно-гибочного штампа. Пуансоны вырезались из термообработанной заготовки, сталь Х12М, с одного установка на электроэрозионном станке с проволочным электродом. На рис. 4 показана схема измерения линейных размеров.



Рис. 4. Схема расположения сечений для измерения размеров пуансона:  
 а) толщины; б) ширины и высоты заплечика

Fig. 4. Layout of sections for measuring the size of the punch:  
 a) thickness; b) width and height of the shoulder

Измерения выполнены на горизонтальном оптиметре. В таблице приведены результаты измерений.

Таблица

Результаты обмера пуансонов

Table

*Punch measurement results*

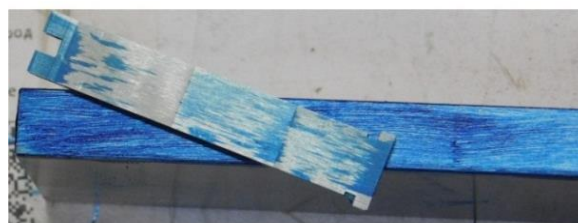
№ образца		1	2	5	6	9	10	13	14	15	16
Толщина, 1,056±0,002	№1	1,054	1,054	1,055	1,053	1,058	1,054	1,053	1,055	1,055	1,053
	№2	1,053	1,056	1,053	1,055	1,057	1,057	1,055	1,056	1,056	1,057
	№3	1,053	1,054	1,053	1,055	1,055	1,057	1,055	1,055	1,057	1,057
Ширина, 8,6±0,002	№1	8,605	8,604	8,605	8,609	8,605	8,607	8,603	8,604	8,605	8,606
	№2	8,608	8,605	8,609	8,605	8,608	8,606	8,605	8,607	8,611	8,609
Запечник Н1, 2±0,002		2,007	2,010	2,024	2,004	2,007	2,004	2,006	2,002	2,005	2,005

Анализ результатов показывает, что отклонения линейных размеров не превышают 3-6 мкм. При этом была обеспечена шероховатость поверхностей в диапазоне Ra 0,06...0,1 мкм.

Плоскостность обработанных поверхностей проверена с использованием краски (берлинская лазурь, рис. 5) и с помощью оптиметра.



а)



б)

Рис. 5. Отклонения деталей, полученных электроэрозионной обработкой, от плоскостности  
Fig. 5. Deviations of parts obtained by electroerosion treatment from flatness

Из рис. 4 видно, что все пуансоны имеют неплоскостность на всей длине (прогиб, макроотклонение, рис. 4а). Кроме этой основной гармоник, отклонения меньшего размера (волнистость) наблюдаются и в пределах этой длины (рис. 4б). С учетом наличия нескольких гармоник (макроотклонение + волнистость) можно предположить, что они формируются под суммарным воздействием двух факторов: колебаний электрода-проволоки и перераспределения внутренних остаточных напряжений.

Зафиксированные отклонения от плоскостности по номиналу существенно больше отклонений линейных размеров.

Неплоскостность в выборке из 10 деталей изменялась от 8 до 12 мкм.

Таким образом, при обеспечении номинальных линейных размеров с точностью 3-6 мкм детали имеют неплоскостность 10-15 мкм и дефектный слой 10-12 мкм. При номинальном конструкторском зазоре между пуансонами и матрицей 10 мкм такие отклонения требуют дополнительных технологических решений. Одним из возможных приемов может быть обработка на электроэрозионном станке с припуском 15-20 мкм и включение в технологический маршрут двухсторонней доводки. Это позволит удалить дефектный слой без риска увеличения пространственных от-

клонений, связанных с перераспределением внутренних остаточных напряжений.

Анализ конструктивных решений показывает, что размерные цепи, формирующие замыкающее звено (конструктивный зазор в парах пуансон-матрица) для таких сложных конструкций штампов очень длинные. В этом случае обеспечение точности методом полной взаимозаменяемости практически невозможно даже при нормировании допусков отдельных звеньев точнее 5 качества. В результате при сборке возникают погрешности (рис. 6), приводящие к неравномерной нагрузке на режущие кромки, преждевременной потере работоспособности, «зарубанию» штампа (рис. 7).

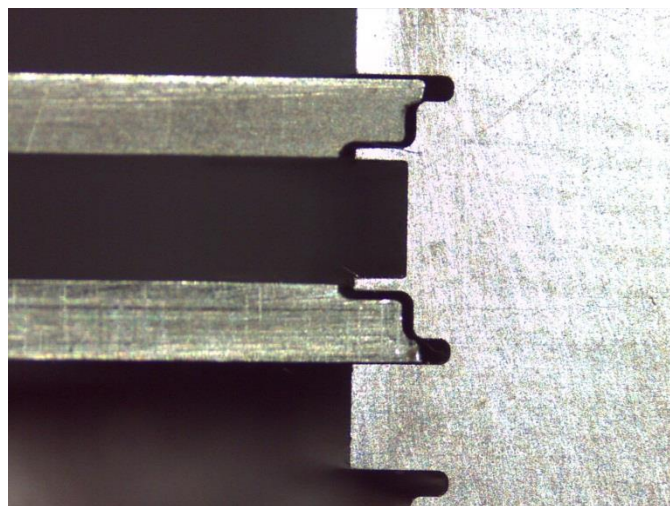


Рис. 6. Несимметричность расположения пуансонов в матрице  
*Fig. 6. The asymmetry of the location of the punches in the matrix*

## Заключение

Проведенные исследования показали, что современные технологические решения обеспечивают существенный положительный эффект. Возможность выполнения на электроэрозионных станках с проволочным электродом основных поверхностей после термической обработки с одного установка позволяют снизить влияние погрешностей базирования и закрепления. Это, в свою очередь, позволяет существенно снизить долю совместной обработки деталей штампа, уменьшить объем слесарных пригоночных работ. Однако, даже при изготовлении функциональных и базирующих поверхностей с точностью выше 6-го качества, обеспечение точно-

сти замыкающих звеньев методами полной и даже неполной взаимозаменяемости не всегда возможно. Поэтому необходимы дополнительные конструкторско-технологические решения этой задачи. При этом, для ответственных поверхностей штампов для массового производства невозможно игнорировать факт возникновения при электроэрозионной обработке дефектного слоя.

В ряде случаев проблема длинных размерных цепей может быть устранена на уровне конструкторско-технологических решений. Конструкция, в частности, может предусматривать частичное использование методов совместного изготовления. Примером может быть использование монтажа колонок с применением клеевых соединений, а также центрирование пуансонов в матрицах путем нанесения мягких покрытий (меднение, никелирование). Кроме этого в ряде случаев целесообразно предусматривать операции доработки деталей после сборки. Например, разновысотность заплечиков ( $H_1$ ) пуансонов (рис. 4, таблица) может быть устранена путем подшлифовки их в технологическом пуансонодержателе комплектом.

Следует отметить, что для нормального производства надежных изделий такого класса сложности и точности необходимо развитое метрологическое обеспечение и правильная организация контроля, в том числе входного. С учетом высокой

стоимости и трудоемкости производственных процессов целесообразно вести комплексный контроль, в том числе по параметрам, которым не всегда уделяется

должное внимание: микроструктура, параметры дефектного слоя, отклонение от правильности формы и взаимного расположения поверхностей.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Панковец И.А., Савченко С.А., Возная В.И., Верещагин М.Н., Астапенко И.В. Исследование факторов, способствующих снижению карбидной неоднородности в подшипниковых марках стали // Черная металлургия. Бюллетень научнотехнической и экономической информации. 2021. Т. 77. № 7. С. 804-810.
2. Абляз Т. Р. Анализ структурных изменений в поверхностном слое деталей после электроэро-

зионной обработки / Т. Р. Абляз // Вестник ЮУрГУ. Серия Машиностроение.- 2015.- Т. 15. № 4.- С. 62-69.

3. Поверхностная коррозия в хромистых сталях 14X17N2 и 03x15n4am3-ш после электроэрозионной обработки. [Текст] / А. П. Королев, В. С. Верченнов, А. В. Никитин, М. Д. Мордасов - // Вестник ТГТУ. 2019. Том 25. № 3. – С. 507-511.

## REFERENCES

1. Pankovets IA, Savchenko SA, Voznaya VI, Vereshchagin MN, Astapenko IV. Study of factors contributing to decrease of carbide heterogeneity in bearing grades of steel. Ferrous Metallurgy. Bulletin of Scientific, Technical and Economical Information. 2021;77(7):804-810.

2. Abylaz TR. Analysis of structural changes in the surface layer of parts after electroerosion treatment. Bulletin SUSU. Engineering. 2015;15(4):62-69.
3. Korolev AP, Verchenov VS, Nikitin AV, Mordasov MD. Surface Corrosion in Chromium Steels 14X17N2 and 03X15N4AM3-SH after Electrical Discharge Machining. Transactions of the TSTU. 2019;25(3):507-511.

## Информация об авторах:

**Хандожко Александр Владимирович**, доктор технических наук, профессор кафедры «Металлорежущие станки и инструменты» Брянского государственного технического университета, почтовый адрес: 241035, Брянск, бульвар 50-летия Октября, д. 7, Тел. +7(929)023-01-23, e-mail: chandosh@yandex.ru.

**Щербakov Андрей Николаевич**, кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Металлорежущие станки и инструменты» Брянского государственного технического университета, почтовый адрес: 241035, Брянск, бульвар 50-летия Октября, д. 7, email: taiga78@list.ru.

**Khandozhko Aleksandr Vladimirovich** -Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Metal Cutting Machines and Tools at Bryansk State Technical University; address: 7, 50-letiya Oktyabrya Boulevard, 241035, Bryansk; phone: +7(929)023-01-23, e-mail: chandosh@yandex.ru .

**Shcherbakov Andrey Nikolaevich** - Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Metal Cutting Machines and Tools at Bryansk State Technical University; address: 7, 50-letiya Oktyabrya Boulevard, 241035, Bryansk; phone: +7(903)868-96-33, e-mail: taiga78@list.ru.

**Федонина Светлана Олеговна**, кандидат технических наук, ст. преподаватель кафедры «Металлорежущие станки и инструменты» Брянского государственного технического университета, почтовый адрес: 241035, Брянск, бульвар 50-летия Октября, д. 7, email: fedonina.sv2015@gmail.com

**Лакалина Нина Юрьевна**, доцент кафедры «Металлорежущие станки и инструменты» Брянского государственного технического университета, почтовый адрес: 241035, Брянск, бульвар 50-летия Октября, д. 7, email: ninalakalina@yandex.ru.

**Fedonina Svetlana Olegovna** - Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Metal Cutting Machines and Tools at Bryansk State Technical University; address: 7, 50-letiya Oktyabrya Boulevard, 241035, Bryansk; phone: +7(952)964-15-47, e-mail: fedonina.sv2015@gmail.com.

**Lakalina Nina Yuryevna** – Associate Professor of the Department of Metal Cutting Machines and Tools at Bryansk State Technical University; address: 7, 50-letiya Oktyabrya Boulevard, 241035, Bryansk; phone: +7(910)232-21-03, e-mail: ninalakalina@yandex.ru.

**Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.**

**Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.**

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**



**The authors declare no conflicts of interests.**

**Статья опубликована в режиме Open Access.  
Article published in Open Access mode.**

**Статья поступила в редакцию 10.09.2023; одобрена после рецензирования 18.09.2023; принята к публикации 27.09.2023. Рецензент – Нагоркин М.Н., доктор технических наук, доцент Брянского государственного технического университета.**

**The article was submitted to the editorial office on 10.09.2023; approved after review on 18.09.2023; accepted for publication on 27.09.2023. The reviewer is Nagorkin M.N., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of Bryansk State Technical University.**