

JOURNAL OF TRANSPORT



ISSUE 1, 2026 vol. 3

E-ISSN: 2181-2438

ISSN: 3060-5164



RESEARCH, INNOVATION, RESULTS



**TOSHKENT DAVLAT
TRANSPORT UNIVERSITETI**

Tashkent state
transport university



JOURNAL OF TRANSPORT

RESEARCH, INNOVATION, RESULTS

E-ISSN: 2181-2438

ISSN: 3060-5164

VOLUME 3, ISSUE 1

MARCH, 2026



jot.tstu.uz

TASHKENT STATE TRANSPORT UNIVERSITY

JOURNAL OF TRANSPORT

SCIENTIFIC-TECHNICAL AND SCIENTIFIC INNOVATION JOURNAL

VOLUME 3, ISSUE 1 MARCH, 2026

EDITOR-IN-CHIEF

SAID S. SHAUMAROV

Professor, Doctor of Sciences in Technics, Tashkent State Transport University

Deputy Chief Editor

Miraziz M. Talipov

Doctor of Philosophy in Technical Sciences, Tashkent State Transport University

The “**Journal of Transport**” established by Tashkent State Transport University (TSTU), is a prestigious scientific-technical and innovation-focused publication aimed at disseminating cutting-edge research and applied studies in the field of transport and related disciplines. Located at Temiryo‘lchilar Street, 1, office 465, Tashkent, Uzbekistan (100167), the journal operates as a dynamic platform for both national and international academic and professional communities. Submissions and inquiries can be directed to the editorial office via email at jot@tstu.uz.

The Journal of Transport showcases groundbreaking scientific and applied research conducted by transport-oriented universities, higher educational institutions, research centers, and institutes both within the Republic of Uzbekistan and globally. Recognized for its academic rigor, the journal is included in the prestigious list of scientific publications endorsed by the decree of the Presidium of the Higher Attestation Commission No. 353/3 dated April 6, 2024. This inclusion signifies its role as a vital repository for publishing primary scientific findings from doctoral dissertations, including Doctor of Philosophy (PhD) and Doctor of Science (DSc) candidates in the technical and economic sciences.

Published quarterly, the journal provides a broad spectrum of high-quality research articles across diverse areas, including but not limited to:

- Economics of Transport
- Transport Process Organization and Logistics
- Rolling Stock and Train Traction
- Research, Design, and Construction of Railways, Highways, and Airfields, including Technology
- Technosphere Safety
- Power Supply, Electric Rolling Stock, Automation and Telemechanics, Radio Engineering and Communications
- Technological Machinery and Equipment
- Geodesy and Geoinformatics
- Automotive Service
- Air Traffic Control and Aircraft Maintenance
- Traffic Organization
- Railway and Road Operations

The journal benefits from its official recognition under Certificate No. 1150 issued by the Information and Mass Communications Agency, functioning under the Administration of the President of the Republic of Uzbekistan. With its E-ISSN 2181-2438, ISSN 3060-5164 the publication upholds international standards of quality and accessibility.

Articles are published in Uzbek, Russian, and English, ensuring a wide-reaching audience and fostering cross-cultural academic exchange. As a beacon of academic excellence, the "Journal of Transport" continues to serve as a vital conduit for knowledge dissemination, collaboration, and innovation in the transport sector and related fields.

Influence of Heat on Machining Errors in Mechanical Parts

G.K. Ubaydullaev ¹^a, N.T. Ergashev ¹^b, O.F. Ashurov ¹^c

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: This article examines the influence of thermal effects arising during the machining process on the accuracy of manufactured parts. The study focuses on the thermal behavior of technological system elements, including the cutting tool, workpiece, and machine tool components, and analyzes how heat generation affects dimensional and geometrical deviations. The main sources of heat in machining are identified as plastic deformation in the cutting zone, friction between the tool and workpiece, and energy dissipation at contact interfaces.

The concept of thermal equilibrium in the technological system is considered, along with its threshold conditions and the time required to reach a quasi-stable temperature state. It is shown that even after reaching thermal equilibrium, residual thermal deformations remain, leading to systematic machining errors. These errors significantly influence the final accuracy of the machined parts.

The paper also discusses approaches to reduce thermal errors, including optimization of cutting parameters, effective use of cooling and lubrication systems, and improvement of machine tool structural stability. The results indicate that controlling thermal effects is essential for improving machining accuracy and ensuring the reliability of manufactured components in industrial applications.

Keywords: machining accuracy, thermal deformation, heat generation, technological system, systematic errors, thermal equilibrium, cutting process

Влияние теплового воздействия на погрешности обработки механических деталей

Убайдуллаев Г.К. ¹^a, Эргашев Н.Т. ¹^b, Ашуров О.Ф. ¹^c

¹Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация: В данной статье рассматривается влияние тепловых эффектов, возникающих в процессе механической обработки, на точность изготовленных деталей. Исследование посвящено тепловому поведению элементов технологической системы, включая режущий инструмент, заготовку и узлы станка, а также анализирует влияние тепловыделения на размерные и геометрические отклонения. В качестве основных источников тепла при механической обработке выделены пластическая деформация в зоне резания, трение между инструментом и заготовкой, а также рассеивание энергии на границах контакта.

Рассмотрена концепция теплового равновесия в технологической системе, а также его пороговые условия и время, необходимое для достижения квазистационарного температурного состояния. Показано, что даже после достижения теплового равновесия остаются остаточные тепловые деформации, приводящие к систематическим ошибкам обработки. Эти ошибки существенно влияют на конечную точность обработанных деталей.

В статье также обсуждаются подходы к уменьшению тепловых погрешностей, включая оптимизацию параметров резания, эффективное использование систем охлаждения и смазки, а также повышение конструктивной устойчивости станка. Полученные результаты указывают на то, что контроль тепловых эффектов имеет решающее значение для повышения точности обработки и обеспечения надежности изготавливаемых деталей в промышленных условиях.

Ключевые слова: точность обработки, тепловая деформация, тепловыделение, технологическая система, систематические погрешности, тепловое равновесие, процесс резания


1. Введение

В современном машиностроении достижение высокой размерной и геометрической точности обрабатываемых деталей является одной из ключевых задач. В процессе непрерывной работы металлорежущих станков происходит постепенное

нагревание всех элементов технологической системы, включающей станок, режущий инструмент, заготовку и вспомогательные устройства. Данное тепловое воздействие приводит к возникновению переменных систематических погрешностей, которые существенно влияют на точность обработки [1,2].

^a <https://orcid.org/0009-0001-0602-0577>

^b <https://orcid.org/0000-0002-0353-2139>

^c <https://orcid.org/0000-0002-0444-428X>



Основной причиной тепловых деформаций является выделение теплоты в зоне резания, обусловленное пластической деформацией материала заготовки и трением между инструментом и обрабатываемой поверхностью. Кроме того, значительное количество теплоты образуется в узлах и механизмах станка в результате потерь на трение в подшипниках, зубчатых передачах, гидравлических приводах, а также в встроенных электродвигателях. Эти внутренние источники тепла приводят к неравномерному распределению температуры по элементам технологической системы.

Помимо внутренних факторов, на тепловое состояние оборудования оказывают влияние и внешние источники. К ним относятся теплопередача от охлаждающих жидкостей, используемых для отвода теплоты из зоны резания, а также воздействие окружающей среды: нагрев от близко расположенных отопительных приборов, солнечной радиации и теплопередача через фундамент станка [3–5]. Совокупность указанных факторов вызывает сложное температурное поле, приводящее к деформациям элементов станка.

В результате температурных изменений происходят линейные и угловые деформации узлов станка, что приводит к изменению взаимного положения инструмента и заготовки. Это, в свою очередь, вызывает накопление систематических погрешностей обработки, которые носят переменный характер во времени. Особенно заметно влияние тепловых деформаций при длительной непрерывной работе оборудования и при выполнении высокоточных операций.

Таким образом, исследование тепловых процессов в технологической системе, выявление основных источников нагрева, а также анализ их влияния на точность обработки являются актуальными задачами современного машиностроения. Понимание закономерностей теплообразования и теплопередачи позволяет разрабатывать эффективные методы снижения температурных деформаций, обеспечивая повышение точности и стабильности технологических процессов.

2. Методика исследования

Обзор литературы по влиянию теплового воздействия на погрешности обработки механических деталей

В процессе механической обработки заготовок при непрерывной работе металлорежущих станков происходит постепенное нагревание элементов технологической системы, что приводит к возникновению переменных систематических погрешностей обработки [3–5]. Данное явление обусловлено совокупностью внутренних и внешних источников тепловыделения.

К основным причинам нагревания станков и их узлов (шпиндельных бабок, станин, столов и др.) относятся:

- потери на трение в подвижных соединениях (подшипниках, зубчатых передачах);
- тепловыделение в гидроприводах и встроенных электродвигателях;
- теплопередача от охлаждающей жидкости,

отводящей тепло из зоны резания;

- воздействие внешних источников тепла (солнечное излучение, отопительные приборы, теплопередача через фундамент) [3–5].

Особое влияние на точность обработки оказывает нагрев шпиндельных узлов. В результате теплового расширения происходит смещение шпиндельной бабки как в вертикальном, так и в горизонтальном направлении (в сторону рабочего). Исследования показывают, что температура в различных точках корпуса шпиндельной бабки может изменяться в диапазоне от 10 до 50 °С. При этом максимальные значения температуры наблюдаются в зонах расположения подшипников шпинделя и быстроходных валов, где температура обычно на 30–40 % превышает среднюю температуру корпусных деталей [6].

В начальный период работы станка после его запуска происходит интенсивный нагрев, вызывающий смещение шпинделя в сторону оператора. Это приводит к непрерывному изменению геометрических параметров обрабатываемых заготовок, особенно при обработке длиномерных деталей (например, валов), и, как следствие, к возникновению переменной систематической погрешности.

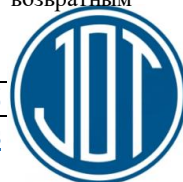
Установлено, что величина переменной систематической погрешности обработки приблизительно равна удвоенному значению горизонтального смещения оси передней бабки. Экспериментальные исследования показывают, что при обработке заготовок в патроне горизонтальное смещение шпинделя больше, чем при работе в центрах, и может достигать 17 мкм, что существенно влияет на точность размеров и форму деталей.

Теоретические основы влияния тепловых напряжений на погрешности обработки механических деталей

Тепловые процессы, возникающие в технологической системе «станок–приспособление–инструмент–заготовка», являются одним из ключевых факторов формирования погрешностей обработки. Тепловые деформации носят сложный, нестационарный характер и обусловлены как внутренними источниками тепловыделения, так и внешними воздействиями.

Одной из важнейших закономерностей является зависимость смещения шпинделя от частоты его вращения. Установлено, что с увеличением частоты вращения n величина смещения шпинделя возрастает приблизительно пропорционально \sqrt{n} $\delta \sim \sqrt{n}$. Это объясняется тем, что при повышении скорости вращения возрастает интенсивность трения в подшипниках, а также увеличиваются потери энергии, преобразующиеся в тепло, что приводит к неравномерному температурному полю и соответствующим деформациям.

Процесс нагревания передней бабки носит переходный характер. Продолжительность установления теплового равновесия составляет, как правило, 3–5 часов, в течение которых происходит постепенное изменение температуры и соответствующее смещение оси шпинделя. После достижения стационарного теплового состояния температура стабилизируется, и деформации приобретают постоянный характер. При остановке станка наблюдается обратный процесс — медленное охлаждение, сопровождающееся возвратным



перемещением оси шпинделя, что также может вызывать дополнительные погрешности при прерывистом режиме работы.

С целью минимизации влияния тепловых деформаций на точность обработки широко применяется предварительный прогрев станка, осуществляемый путём его холостой обкатки в течение 2–3 часов. Это позволяет перевести технологическую систему в состояние, близкое к тепловому равновесию, и обеспечить стабильность геометрических параметров в процессе последующей обработки. При механической обработке деталей рекомендуется проводить работу без значительных перерывов, поскольку циклические процессы нагрева и последующего охлаждения элементов станка приводят к повторному возникновению переменных тепловых деформаций. Это вызывает нестабильность геометрических параметров технологической системы и, как следствие, ухудшение точности обработки.

Данный эффект наглядно иллюстрируется на рисунке 1, где показано горизонтальное смещение оси передней бабки токарного станка при его нагреве в процессе работы в центрах. В начальный период работы происходит постепенное увеличение температуры, сопровождающееся смещением шпинделя. При остановке станка начинается охлаждение, и ось шпинделя частично возвращается в исходное положение. При повторном запуске цикл деформаций повторяется.

Таким образом, каждый цикл «нагрев–охлаждение» вызывает изменение положения шпинделя, что приводит к возникновению переменной систематической погрешности обработки. Именно поэтому непрерывный режим работы после предварительного прогрева обеспечивает более стабильное тепловое состояние станка и повышает точность обработки деталей.

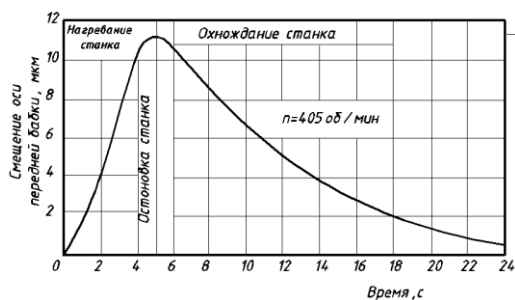


Рис. 1. Горизонтальное смещение оси передней бабки токарного станка от его нагрева при работе в центрах

Существенный вклад в суммарную погрешность обработки вносит тепловое состояние режущего инструмента. Значительная часть тепла, выделяемого в зоне резания, передаётся инструменту, вызывая его нагревание и линейное удлинение. При токарной обработке именно удлинение резца является одной из основных составляющих температурной погрешности.

Экспериментальные исследования показывают, что при обработке легированных сталей (с пределом прочности $\sigma_b \approx 1080$ МПа) резцами с твердосплавными пластинами (например, Т15К6) тепловое равновесие инструмента устанавливается через 20–24 минуты

непрерывной работы. При обработке мягкой стали тепловое равновесие режущего инструмента устанавливается примерно через 12 минут непрерывной работы, при этом сохраняется общий характер изменения тепловых деформаций, представленный на рисунке 2 [7, 8]. До достижения этого состояния температура резца и его линейные размеры изменяются во времени, что приводит к нестабильности размеров обрабатываемых деталей.

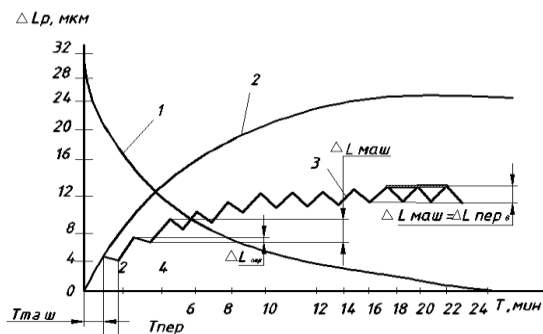


Рис. 2. Влияние перерывов работы резца на его тепловые деформации:
1 — охлаждение резца; 2 — нагревание резца при непрерывной работе; 3 — работа в условиях резания с перерывами; $\Delta L_{\text{маш}}$ — удлинение резца за машинное время; $\Delta L_{\text{пер}}$ — уменьшение длины резца при охлаждении за время перерыва

При работе с перерывами (кривая 3) наблюдается циклический характер изменения температуры и длины резца: в период резания инструмент нагревается и удлиняется, а в паузах — охлаждается и укорачивается. В результате суммарное тепловое удлинение оказывается меньше, чем при непрерывной работе.

До наступления теплового равновесия удлинение резца изменяется во времени, что приводит к нестабильности размеров обрабатываемых деталей.

Тепловое удлинение резца зависит от ряда технологических и конструктивных факторов:

- увеличение скорости резания, подачи и глубины резания приводит к росту тепловыделения и, соответственно, увеличению удлинения;
- вылет резца оказывает существенное влияние: при его уменьшении с 40 до 20 мм удлинение может снизиться с 28 до 18 мкм;
- удлинение обратно пропорционально площади поперечного сечения державки резца;
- увеличение толщины твердосплавной пластинки способствует снижению тепловых деформаций;
- повышение твёрдости обрабатываемого материала увеличивает тепловую нагрузку на инструмент.

В обычных условиях без применения охлаждающих жидкостей удлинение резца может достигать 30–50 мкм. Использование эффективного охлаждения позволяет снизить эту величину в 3–3,5 раза за счёт уменьшения температуры в зоне резания и более равномерного распределения тепла.

Особое внимание следует уделить прерывистым режимам обработки. При наличии перерывов в



машинном времени после прекращения резания начинается охлаждение инструмента и его укорочение. В последующем цикле нагрева происходит повторное удлинение. Таким образом формируется циклический характер тепловых деформаций. Однако исследования показывают, что при рациональном выборе длительности рабочих и паузовых интервалов суммарные тепловые деформации могут быть снижены, что приводит к уменьшению температурной составляющей погрешности обработки.

Тепловое расширение элементов системы. Основным законом, описывающим тепловые деформации, является закон линейного расширения:

$$\Delta L = \alpha \cdot L \cdot \Delta T$$

где: ΔL — изменение длины; α — коэффициент линейного расширения материала; L — исходная длина; ΔT — изменение температуры.

Данная зависимость показывает, что даже незначительное изменение температуры может вызвать существенные погрешности при обработке высокоточных деталей.

По этой причине, прерывистый режим обработки приводит к снижению средних тепловых деформаций реза за счёт его частичного охлаждения, однако вызывает колебания размеров во времени. Это означает, что при непрерывной обработке достигается стабильность размеров после выхода на тепловое равновесие, тогда как при прерывистом режиме уменьшается величина деформаций, но возрастает их переменный характер, что также может влиять на точность обработки.

Таким образом, тепловые напряжения и деформации элементов технологической системы оказывают комплексное влияние на точность обработки. Их учет и управление (за счёт прогрева, оптимизации режимов резания, конструктивных параметров инструмента и применения охлаждения) являются необходимым условием повышения точности и стабильности технологических процессов.

3. Заключение

В результате проведённого анализа установлено, что тепловые процессы в технологической системе «станок–инструмент–заготовка» оказывают существенное влияние на формирование погрешностей механической обработки. Одним из ключевых факторов, определяющих стабильность размеров обрабатываемых деталей, является ритмичность работы оборудования.

Показано, что при ритмичном режиме обработки, характеризующемся постоянством технологических параметров и отсутствием значительных перерывов, тепловое состояние системы стабилизируется. В этих условиях тепловые деформации заготовок приобретают установившийся характер и остаются практически неизменными во времени, что обеспечивает высокую повторяемость размеров и минимальное рассеяние геометрических параметров деталей.

Напротив, при нарушении ритмичности технологического процесса возникают циклические изменения температурного состояния системы, связанные с чередованием фаз нагрева и охлаждения. Это приводит к неравномерности тепловых деформаций отдельных заготовок и, как следствие, к увеличению

рассеяния размеров, снижению точности обработки и ухудшению качества готовой продукции.

Сравнительный анализ различных видов механической обработки показал, что степень влияния тепловых деформаций режущего инструмента существенно зависит от характера процесса резания. При операциях непрерывного резания (например, точении) нагрев резов приводит к значительным линейным деформациям, оказывающим прямое влияние на точность обработки. В то же время при операциях прерывистой обработки, таких как фрезерование и зубонарезание, влияние тепловых факторов существенно снижается.

Это объясняется тем, что при прерывистом контакте инструмента с заготовкой создаются условия для его периодического охлаждения, а применение охлаждающих жидкостей дополнительно снижает температурную нагрузку. В результате тепловые деформации инструмента становятся менее выраженными и оказывают ограниченное влияние на формирование погрешностей обработки.

Таким образом, обеспечение ритмичности технологического процесса, рациональный выбор методов обработки и эффективное применение систем охлаждения являются важнейшими условиями повышения точности механической обработки. Реализация данных подходов позволяет минимизировать температурные погрешности, повысить стабильность размеров и обеспечить высокое качество изготавливаемых деталей.

Использованная литература / References

- [1] Иванов Ю.В, Ильянков А.И. Технологии машиностроение. М.: Изд. Академия, 2014.
- [2] Kayumjonovich, T. N., Pirmukhamedovich, A. S., Joraqulovich, A. S., & Nematullayevich, K. S. (2022). Development of the technology of steel modification for the manufacture of large, particularly responsible cast parts. Web of Scientist: International Scientific Research Journal, 3(6), 1001-1007.
- [3] Shermukhamedov, A., Ergashev, N., & Azizov, A. (2021). Substantiating parameters brake system of the tractor trailer. In E3S Web of Conferences (Vol. 264, p. 04019). EDP Sciences.
- [4] Комаров и др. Механическая обработка деталей. Самара. Изд. СГАУ 2003.
- [5] Ермолаев В.В. Обработка металлов резанием, станки и инструменты. М.: Изд. Академия, 2019.
- [6] Евстифаев В.А. Обработка металлов резанием. Омск. Изд. СибАДИ, 2012.
- [7] Abdulaziz, S., & Nurillo, E. (2022). Analysis of studies on the justification of the parameters of the brake system of auto-tractor trailers. research and education, 1(6), 91-94.
- [8] Кожевников В.Д., Кирсанов С.В. Резание металлов. Томск. Изд. ТПУ, 2012.
- [9] Убайдуллаев, Г. К., Эргашев, Н. Т., & Рашидов, А. М. (2022). Основные закономерности и современные тенденции развития транспортных машин. research and education, 1(7), 138-142.
- [10] Убайдуллаев, Г. К., Эргашев, Н. Т., & Жуманиёзов, Х. Ж. (2022). Системный анализ



специализированных транспортных средств. research and education, 1(7), 103-106.

[11] Sanat, S. (2022). REPAIR OF MOTOR VEHICLE TIRES. *Academicia Globe: Inderscience Research*

[12] Sanat, S. (2022). Avtotransport vositalarini shinalarini tiklash. *Academicia Globe: Inderscience Research*

[13] Shermukhamedov, A. A., Ergashev, N. T. ugli, & Jumaniyazov, H. J. (2022). Katta hajmli kuzovlari almashinuvchi traktor tirkamalari tormoz tizimi tadqiqotlari tahlili. *International conference dedicated to the role and importance of innovative education in the 21st century*, 1(8), 176–180. Retrieved from

<http://openidea.uz/index.php/conf/article/view/228>

Информация об авторах/ Information about the authors

Убайдуллаев
Гайрат / Gayrat
Ubadullaev

Ташкентский
государственный
транспортный университет,
профессор кафедры
«Автомобильная и
производственная
инженерия»
E-mail: odiljan.turdiyev@mail.ru
Tel.: +998974339560
<https://orcid.org/0009-0001-0602-0577>

Эргашев
Нурилло / Nurillo
Ergashev

Ташкентский
государственный
транспортный университет,
доцент кафедры
«Автомобильная и
производственная
инженерия», (PhD)
E-mail:
ergashevnurillo@gmail.com
Tel.: +9989997201094
<https://orcid.org/0000-0002-0353-2139>

Ашуров Ортик /
Ortik Ashurov

Ташкентский
государственный
транспортный университет,
и.о. доцент кафедры
«Автомобили и
автомобильное хозяйство»
E-mail:
ashurovortiq0@gmail.com
Tel.: +998974297010
<https://orcid.org/0000-0002-0444-428X>



| | |
|--|-----|
| Z. Alimova, A. Abdurazakov, Z. Usmonov, O. Ashurov <i>Oil quality studies of hydraulic systems of agricultural machinery in conditions of dusty air</i> | 258 |
| A. Shermukhamedov, N. Ergashev, A. Rashidov <i>Finite element-based numerical analysis of the stress-strain state of a large-volume tractor trailer frame under complex loading conditions</i> | 263 |
| G. Ubaydullaev, N. Ergashev, O. Ashurov <i>Influence of Heat on Machining Errors in Mechanical Parts</i> | 268 |
| J. Gulyamov, M. Hamzaev <i>Designing an adaptive test program for knowledge assessment in UML</i> | 273 |