

# Технология и технологические машины

УДК 621.6.01: 539.4

## Реакция несущей системы станка на термические воздействия

**Б.М. Дмитриев**

*Во время работы станка в его конструкции происходит взаимодействие источников тепла, которое обуславливает возникновение погрешности обработки. Анализ их действия и расчеты конструкции выполняются на основе принципа суперпозиции, однако исследования доказывают его несостоятельность. Представленные в статье результаты исследований показали причины такой несостоятельности.*

*В ходе исследований обнаружено явление взаимного влияния термического состояния различных источников термических воздействий друг на друга, что и объясняет низкую точность расчетных методов. Это необходимо учитывать для обеспечения требуемого уровня точности расчетных методов.*

*Аналогично при проведении экспериментальных исследований для обеспечения достоверности получаемых результатов необходимо учитывать наличие взаимного термического влияния одних источников на термическое состояние других источников.*

**Ключевые слова:** станок, точность расчетных методов, источники тепла, термическое воздействие.

## The reaction of a machine support to thermal loads

**B.M. Dmitriev**

*The interaction of heat sources in operating machines causes machining errors. Usually, the estimation of these errors, as well as the structural analysis, is performed on the basis of the superposition principle, which is inapplicable in this case according to a number of research works. The results of the study pre-*



**ДМИТРИЕВ**  
**Борис Михайлович**  
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

**DMITRIEV**  
**Boris Mikhaylovich**  
(Moscow, Russian Federation,  
Bauman Moscow State  
Technical University)

*sented in this paper reveal the failure causes for this principle. The mutual influence of thermal states of various thermal sources found out in the study can explain the low accuracy provided by numerical methods. This phenomenon should be taken into account to ensure the required accuracy of calculations. Similarly, the mutual thermal influence of sources must be taken into account while conducting full-scale experiments to guarantee the validity of the results.*

**Keywords:** machine, thermodynamic system, accuracy of numerical methods, heat sources, environment, thermal loads.

Движения конструкции станка от действия термических воздействий обуславливают образование погрешностей на изготавливаемых деталях: размера, отклонения формы и расположения [1]. В машиностроении наблюдается устойчивая тенденция к снижению погрешностей. Для этого при проектировании применяют расчетные методы, учитывающие влияние термических процессов [2]. Термические явления в целом, и в станках в частности, имеют низкий уровень воспроизводимости результатов исследований точности [3], поскольку на термические процессы оказывает влияние множество слабо заметных факторов. В существующей системе знаний станок рассматривается как механическая машина для производства деталей путем механического съема стружки. При этом все процессы и явления при проведении исследований и расчетов конструкции считаются независимыми [4]. Термические процессы рассматриваются как одна из многих составных причин ухудшения работоспособности станка и являются одной из составляющих погрешности обработки [5]. Исследования, основанные на принципе суперпозиции, не учитывают проявления термических воздействий [6].

Цель данного исследования — доказать или опровергнуть состоятельность принципа суперпозиции.

Современные станочные системы объединяют в станке множество механизмов для осуществления обработки сложных поверхностей, механизмов автоматизации процессов загрузки/выгрузки инструмента и заготовок. Это привело к увеличению энерговооруженности

системы, что, в свою очередь, обуславливает значительное влияние тепла на состояние конструкции. Повышение термического воздействия на состояние несущей системы станка переводит ее из разряда механической машины в термодинамическую систему (ТДС) — систему макротел, обменивающуюся энергией с внешней средой и между своими составными частями [7]. Во время работы в станке происходит обмен энергией внутри конструкции, обуславливающий взаимное влияние одних процессов на другие. Поэтому необходимо учитывать взаимное влияние составных частей на границах разделов. Исследованиями установлено, что при этом имеет место сверхаддитивный эффект. Если станок исследуется как механическая машина [8, 9], то наблюдаются определенные несоответствия расчетов и практических результатов.

Станок — это ТДС, что и определяет его свойства, которые намного специфичнее и сложнее чем механическая система, поскольку ТДС обменивается энергией как внутри системы, так и с внешней средой. Как показывают исследования, в конструкции несущей системы во время рабочего процесса тепло одного источника «взаимодействует» с теплом другого источника.

Для доказательства применялся экспериментальный метод. В качестве объекта использовался токарный станок среднего типоразмера с ЧПУ. Источники тепла в конструкции станка расположены согласно кинематики движений (рис. 1): главный привод станка 2 с вентилятором 1, опоры шпинделя и разгрузочного шкива 3, ближняя термическая среда 4, окружающая среда 5, корыто со стружкой 6, привод подач 7,

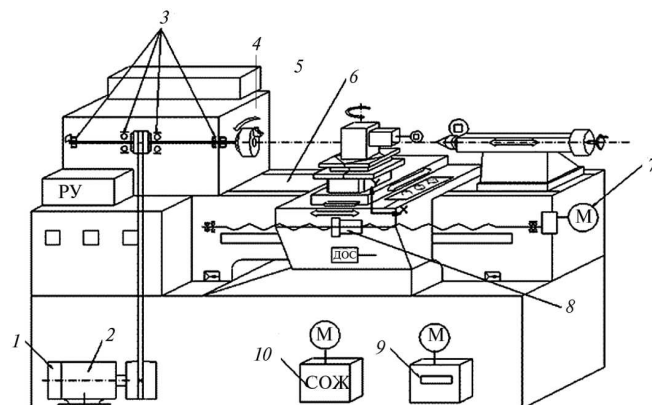


Рис. 1. Расположение источников тепла в конструкции станка

ШВП 8, два бака с СОЖ 9 и с маслом 10. Точность обработки определяет расположение фланца с заготовкой относительно станины. Положение заготовки (в данном случае фланца) в пространстве однозначно описывают пять координат (три линейных по осям и две угловые в вертикальной и горизонтальной плоскостях). Для оценки значения перемещений по координатам использовалась измерительная система с двумя первичными преобразователями в горизонтальной плоскости, двумя в вертикальной и одним вдоль оси. Эксперимент состоял из двух этапов. На первом этапе исследовалось поведение оси шпинделя (фланца) при воздействии каждого источника в отдельности. После исследования действия всех указанных источников тепла суммировались. На втором этапе исследовалось поведение конструкции при одновременном действии всех источников при тех же режимах, что и в первой серии опытов.

Результаты экспериментов приведены на рис. 2. Из анализа представленных результатов следует, что в конструкции происходит взаимное влияние тепла одних источников на другие. Это положение характерно для ТДС. В отличие от механической машины в ТДС тепла выделяется больше на 20...40 %.

При проведении экспериментов было обнаружено еще одно явление, характерное для станочной системы как ТДС, — изменение терми-

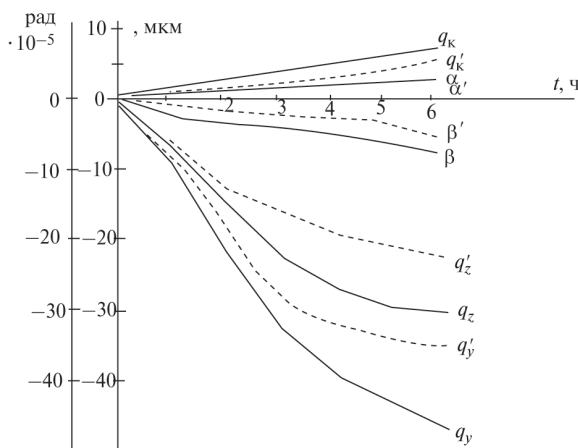


Рис. 2. Результаты исследования поведения конструкции станка при разных режимах работы источников тепла:

- — — суммарное действие источников, работавших независимо;
- — — одновременное действие источников

ческого состояния конструкции, зафиксированное термовизором. Взаимное влияние источников тепла приводит к образованию вокруг несущей системы станка поверхностного слоя воздуха, имеющего температуру, отличную от окружающей среды и температуры металла конструкции. Результат оценки изменения состояния этого слоя за время работы конструкции представлена на рис. 3.

Когда конструкция находится в исходном «холодном» равновесном состоянии температура окружающей среды ближней (первичный преобразователь 4) и дальней — окружающей (преобразователь 5) сред одинаковая. После 4 ч работы конструкция переходит в другое термическое равновесное состояние и вокруг нее образуется слой воздуха с температурой, отличной как от металла конструкции, так и от температуры дальней среды.

Таким образом, для повышения точности результатов расчетных методов и экспериментальных исследований следует учитывать тот факт, что станочная система представляет собой ТДС, т. е. существует взаимное влияние источников термического воздействия, а также

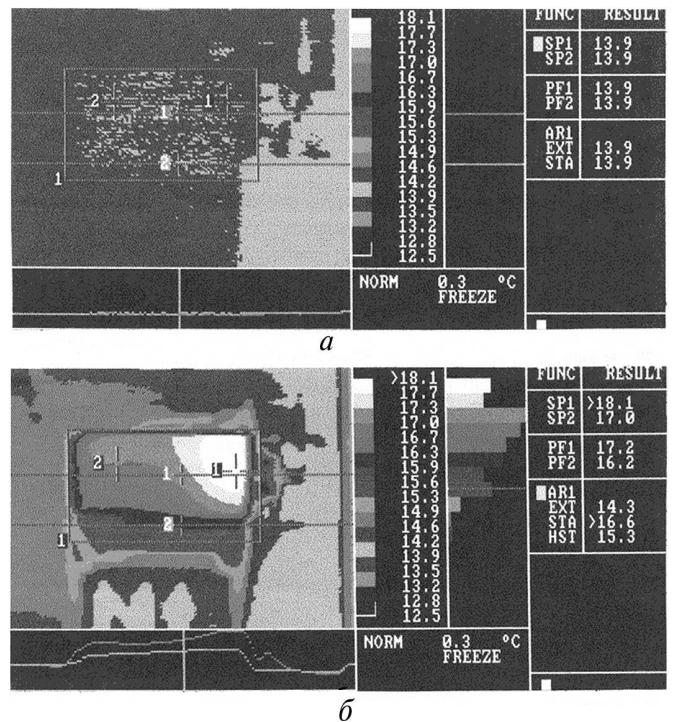


Рис. 3. Изменение термического состояния конструкции при работе на холостом ходу:

а — в «холодном» режиме; б — после 4 ч работы

взаимодействие между металлом конструкции и окружающей средой.

## Выводы

1. Во время рабочего процесса источники тепла взаимодействуют термическими полями между собой в силу ограниченного пространства их расположения в конструкции станка.

2. Взаимное влияние источников термического воздействия обуславливает взаимное влияние конструкции с окружающей средой.

3. Источники, не связанные с кинематикой, такие как баки с маслом, СОЖ и т. д. не могут располагаться безсистемно. Для обеспечения точности во время рабочего процесса при проектировании должно учитываться расположение источников тепла в конструкции.

## Литература

- [1] Кузнецов А.П. *Тепловое поведение и точность металлоорежущих станков*. Москва, Янус-К, 2011, 256 с.
- [2] Losl G. *Einfluss der Bautelllänge auf das thermische Verhalten von Spindellagersystemen*. Maschinmarkt, Würzburg, 1993, pp. 147–149.
- [3] Wiele H. *Zum Stand der Erken über die Berechnungsmöglichkeit von Nemperaturverteilungen und termisch bedindten Deformationen*. Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Hochschule Otto von Guericke. Magdeburg, 1986, vol. 20, no. 5, pp. 625–630.
- [4] Кузнецов А.П. Расчет и прогнозирование вероятности изменения точности станков вследствие тепловых деформаций. В кн. *Надежность и эффективность станков автоматов*. Москва, МВТУ, 1980, с. 45–54.
- [5] Сулов А.Г., Дальский А.М. *Научные основы технологии машиностроения*. Москва, Машиностроение, 2002, 684 с.
- [6] Дмитриев Б.М., Авдеев В.Б. Испытания станков с ЧПУ на надежность по параметрам точности. *Станки и инструмент*, 1981, № 11, с. 24–25.

[7] Бэр Г.Д. *Техническая термодинамика*. Москва, Мир, 1977, 518 с.

[8] Нащёкин В.В. *Техническая термодинамика и теплопередача*. Москва, Высшая школа, 1980, 608 с.

[9] Рейтман Л.Г. Расчет тепловых смещений узлов и деталей металлоорежущих станков. *Станки и инструмент*, 1978, № 2, с. 12–13.

## References

- [1] Kuznetsov A.P. *Teplovoe povedenie i tochnost' metallorezhushchikh stankov* [Thermal behavior and the accuracy of machine tools]. Moscow, Ianus-K publ., 2011, 256 p.
- [2] Losl G. *Einfluss der Bautelllänge auf das thermische Verhalten von Spindellagersystemen*. Maschinmarkt, Würzburg, 1993, pp. 147–149.
- [3] Wiele H. *Zum Stand der Erken über die Berechnungsmöglichkeit von Nemperaturverteilungen und termisch bedindten Deformationen*. Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Hochschule Otto von Guericke. Magdeburg, 1986, vol. 20, no. 5, pp. 625–630.
- [4] Kuznetsov A.P. *Raschet i prognozirovanie veroiatnosti izmeneniia tochnosti stankov vsledstvie teplovykh deformatsii* [Calculation and accuracy of predicting the probability of changes due to thermal deformation of machine tools]. *V knige Nadezhnost' i effektivnost' stankov avtomatov* [Book Reliability and efficiency tools machines]. Moscow, Bauman Press, 1980. Pp. 45–54.
- [5] Suslov A.G., Dal'skii A.M. *Nauchnye osnovy tekhnologii mashinostroeniia* [Scientific fundamentals of engineering technology]. Moscow, Mashinostroenie publ., 2002. 684 p.
- [6] Dmitriev B.M., Avdeev V.B. *Ispytaniia stankov s ChPU na nadezhnost' po parametram tochnosti* [Testing of CNC machine tools reliability parameters of accuracy]. *Stanki i instrument* [Machines and tools]. 1981, no. 11, pp. 24–25.
- [7] Ber G.D. *Tekhnicheskaiia termodinamika* [Technical Thermodynamics]. Moscow, Mir publ., 1977. 518 p.
- [8] Nashchekin V.V. *Tekhnicheskaiia termodinamika i teploperedacha* [Engineering Thermodynamics and Heat Transfer]. Moscow, Vysshiaia shkola publ., 1980. 608 p.
- [9] Reitman L.G. *Raschet teplovykh smeshchenii uzlov i detalei metallorezhushchikh stankov* [Calculation of thermal displacement units and parts of machine tools]. *Stanki i instrument* [Machines and tools]. 1978, no. 2, pp. 12–13.

Статья поступила в редакцию 28.03.2013

## Информация об авторе

ДМИТРИЕВ Борис Михайлович (Москва) — доктор технических наук, доцент кафедры «Металлообрабатывающие станки и комплексы». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, ул. 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1, e-mail: dmitriev@bmstu.ru).

## Information about the author

DMITRIEV Boris Mikhaylovich (Moscow) — Dr. Sc. (Eng.), Associate Professor of «Metalworking Machines and Complexes» Department. Bauman Moscow State Technical University (BMSTU, building 1, 2-nd Baumanskaya str., 5, Moscow, Russian Federation, e-mail: dmitriev@bmstu.ru).