

# ВЛИЯНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ПРИПУСКА НА ОСТАТОЧНЫЕ ЗАКАЛОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ САМОЛЕТА\*

*А.С. БАЧУРИН, аспирант*

*К.Н. БОБИН, канд. техн. наук, доцент*

*К.А. МАТВЕЕВ, доктор техн. наук, профессор*

*Н.А. РЫНГАЧ, канд. техн. наук, доцент*

*Н.В. КУРЛАЕВ, доктор техн. наук, профессор  
(НГТУ, г. Новосибирск)*

Поступила 4 июля 2013 года

Рецензирование 26 августа 2013 года

Принята к печати 5 сентября 2013 года

**Бачурин А.С.** – 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,  
Новосибирский государственный технический университет,  
e-mail: bachurin.a.s@yandex.ru

Исследуется влияние величины припуска, оставляемого на окончательную обработку детали, на остаточные закалочные напряжения. Моделирование производилось как связанная задача нестационарного теплообмена заготовки с закалочной средой и нахождение тепловых напряжений в заготовке. В модели учитывалась зависимость коэффициента теплообмена и характеристик материала от локальной температуры заготовки. В результате расчетов установлено, что максимальные напряжения, возникающие в заготовке при термической обработке, практически не зависят от величины припуска, однако величина припуска влияет на распределение напряжений внутри заготовки. Также в ходе расчетов выявлены места концентрации максимальных растягивающих напряжений и определена оптимальная величина припуска на чистовую обработку.

**Ключевые слова:** численное моделирование, закалочные напряжения, припуск.

## Введение

В современном самолетостроении предъявляются повышенные требования к точности деталей, имеющих в качестве одного из элемента поверхность, связанную с теоретическим контуром [4], поэтому при производстве деталей самолетов имеется ряд особенностей. Одной из таких особенностей является то, что чистовое фрезерование производится после термообработки [1, 5, 7, 9], однако такая обработка может привести к дополнительным деформациям детали [9], не обладающей достаточной жесткостью из-за нарушения равновесия в детали после удаления припуска. В литературе, посвященной обработке металлов резанием, при расчете припуска после термической обработки учитываются [6, 8]: глубина дефектов поверхности; толщина поврежденного поверхностного слоя и геометрические отклонения от заданной поверхности. Вопрос технологической наследственности [9], когда происходит перенос свойств (в том числе внутренних напряжений) от

предшествующих операций к последующим, не учитывается. Такой подход применим при производстве жестких деталей невысокой точности, однако при производстве высокоточных деталей возможно появление нежелательных деформаций после механической обработки.

В настоящей работе проводится исследование влияния величины припуска на остаточные закалочные напряжения заготовки и поиск оптимальных величин припуска для окончательной механической обработки.

## Моделирование влияния припуска на остаточные напряжения

В качестве объекта моделирования выбрано характерное сечение переплета фонаря кабины среднемагистрального пассажирского самолета (рис. 1).

Расчет напряжений проводился в двухмерной постановке в программе Ansys 14. В качестве рас-

\* Работа выполнена при поддержке интеграционного проекта Министерства образования и науки РФ № 7.822.2011.

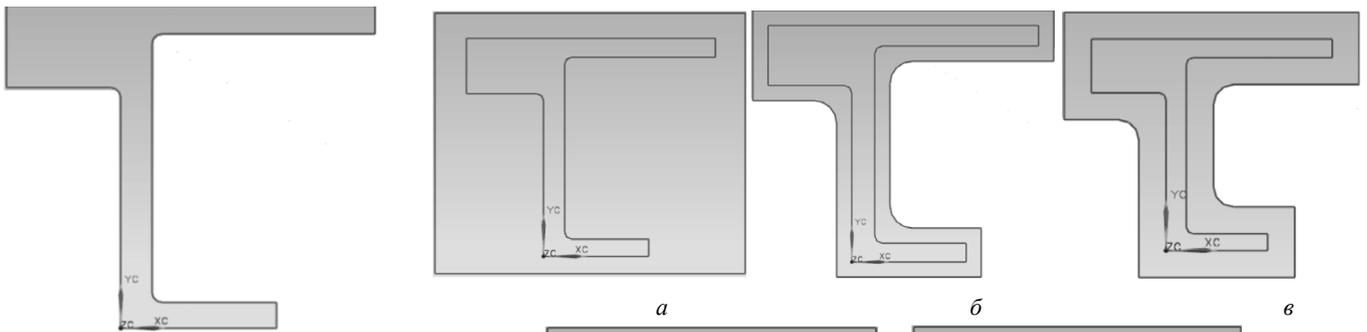


Рис. 1. Сечение переплета фонаря кабины среднемагистрального самолета

четных областей были рассмотрены следующие варианты величин припусков на заготовке (рис. 2, а–д):

– заготовка прямоугольной формы (неравномерный припуск);

- равномерный припуск 4 мм;
- равномерный припуск 8 мм;
- равномерный припуск 12 мм;
- неравномерный припуск 8–18 мм.

Внутренние углы имеют технологический радиус скругления 6 мм, который обеспечивается геометрией инструмента при черновой обработке.

Для нахождения тепловых напряжений необходимо сначала решить нестационарную тепловую задачу [10] с учетом зависимости коэффициента конвективного теплообмена от температуры поверхности [2]. Решение подобных задач и их сходимость с экспериментальными данными рассмотрены в [3].

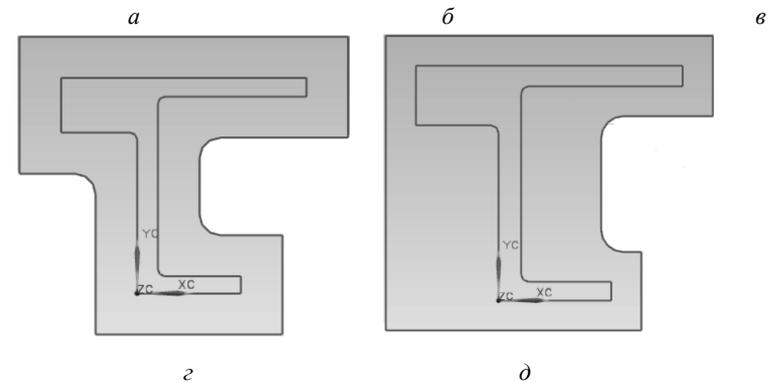


Рис. 2. Сечения заготовок с различными вариантами припуска

В качестве начальных условий для расчета были заданы: материал детали – алюминиевый сплав АК6, закалочная среда – вода, начальная температура стержня 515 °С, температура закалочной среды 27 °С.

### Результаты и обсуждение

В результате проведенных расчетов были получены значения внутренних напряжений для всех вариантов припуска (рис. 3), для которых максимальная величина эквивалентных напряжений различается незначительно (~180 МПа), но распределение напря-

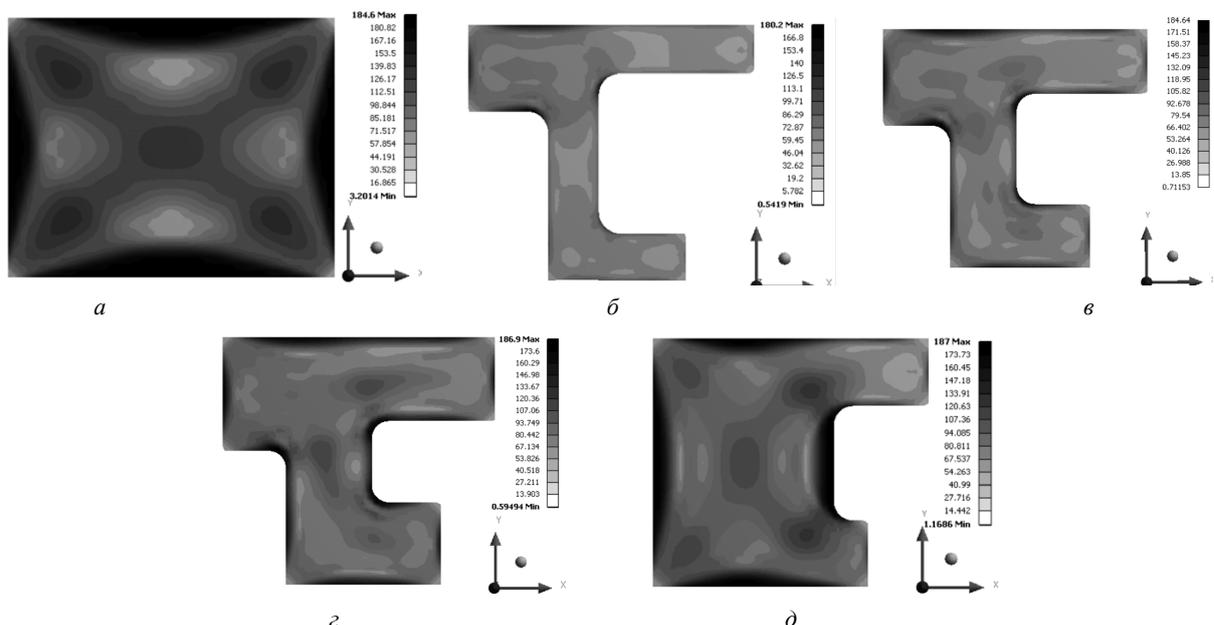


Рис. 3. Распределение эквивалентных напряжений по сечению заготовки

жений по сечению зависит от наименьшей толщины элемента детали. Наибольшие напряжения находятся на поверхности заготовки, при этом с ростом припуска растет область сечения, в которой напряжения превышают значения 100 МПа. В случае использования минимальных и умеренных значений припусков (4–8 мм) (рис. 3, б и 3, в) происходит концентрация максимальных напряжений в поверхностных слоях заготовки, которые будут удалены в процессе чистовой обработки.

Распределение нормальных напряжений (рис. 4) соответствует описанному в [9]: растягивающие напряжения на поверхности и сжимающие напряжения

внутри, а также концентрация напряжений на переходных поверхностях и массивных частях. Поэтому с ростом величины припуска глубина проникновения растягивающих напряжений в материал заготовки растет и достигает границ детали (рис. 4, а и 4, д). Удаление припуска, в котором находятся остаточные растягивающие напряжения, приводит к перераспределению внутренних напряжений и деформации детали. Для минимизации таких деформаций необходимо назначение минимальных (4–8 мм) припусков.

Максимальные величины пластических деформаций примерно одинаковы для всех вариантов (рис. 5), кроме заготовки прямоугольного сечения, однако их

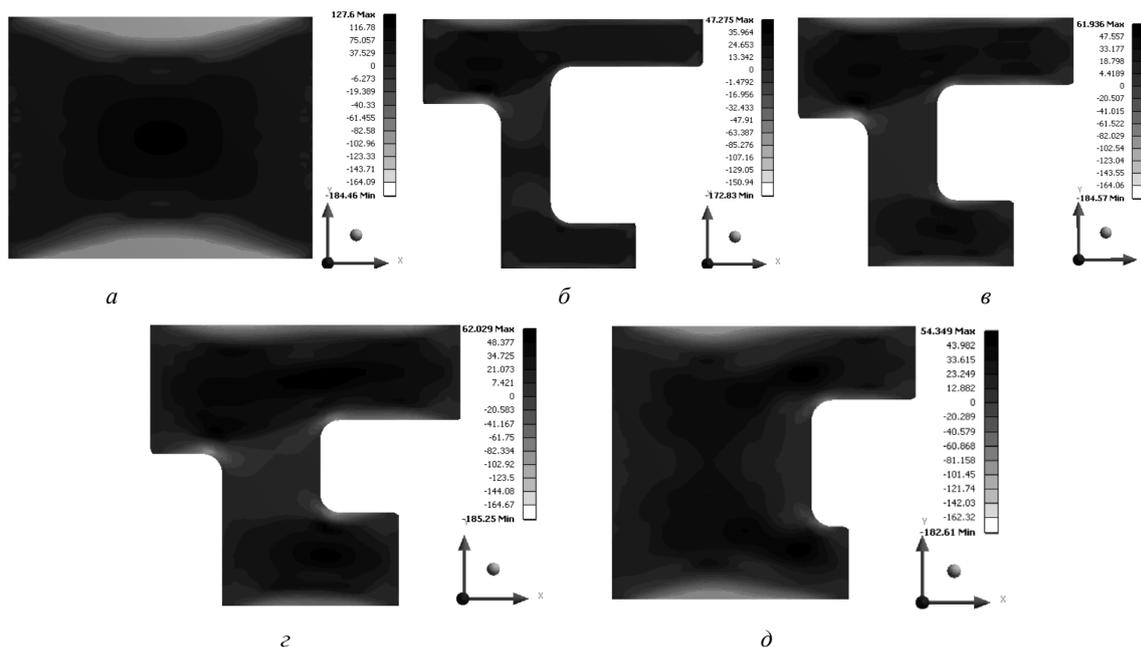


Рис. 4. Распределение нормальных напряжений по сечению заготовки

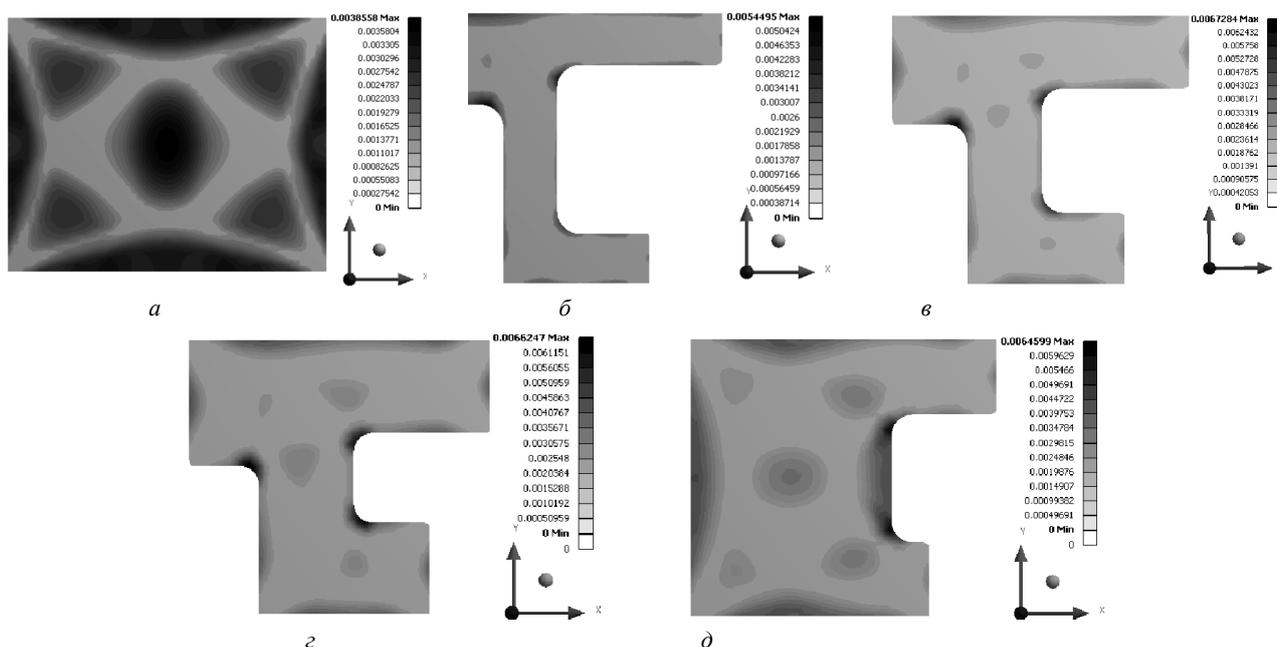


Рис. 5. Распределение пластических деформаций по сечению заготовки

распределение также зависит от величины припуска. Наибольшая глубина распространения пластических деформаций в глубь заготовки происходит в наиболее массивных частях сечения и в сопряжениях с закрытыми углами.

### Выводы

В результате проведенных исследований выявлена зависимость распределения внутренних напряжений от величины припуска. Установлено, что концентрация напряжений происходит в закрытых углах и вокруг открытых углов. Назначение минимально возможных величин припуска (4–8 мм) способствует уменьшению размеров областей, в которых действуют остаточные растягивающие напряжения и возникают пластические деформации.

### Список литературы

1. *Арендарчук А.В., Астафьев А.А., Башнин Ю.А.* Термическая обработка в машиностроении: справочник. – М.: Машиностроение, 1980. – 776 с.
2. *Исаченко В.П.* Теплопередача: учебник для вузов. – М.: Энергоиздат, 1981. – 416 с.

3. *Курлаев Н. В., Бачурин А. С., Слюняев А. Ю.* Оценка точности решения нестационарных тепловых задач и расчет процесса закалки с постепенным погружением в закалочную среду методом конечных элементов // «Наука. Промышленность. Оборона»: труды XIII Всерос. науч.-техн. конф. (Новосибирск, 19–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск, 2012. – С. 64–68.

4. *Курлаев Н.В., Рынгач Н.А., Нарышева Г.Г.* Теоретические основы самолето- и вертолетостроения: учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2013. – 100 с.

5. *Лахтин Ю.М., Рахитадт А.Г.* Термическая обработка в машиностроении: справочник. – М.: Машиностроение, 1980. – 783 с.

6. *Панов А.А.* Обработка металлов резанием: справочник технолога. – М.: Машиностроение, 2004. – 724 с.

7. *Фиргер И.В.* Термическая обработка сплавов. – Л.: Машиностроение, 1982. – 304 с.

8. *Харламов Г.А., Тарапанов А.С.* Припуски на механическую обработку: справочник. – М.: Машиностроение, 2006. – 256 с.

9. *Яцерицын П.И., Рыжов Э.В., Аверченко В.И.* Технологическая наследственность в машиностроении. – Минск.: Наука и техника, 1977. – 256 с.

10. *Применение SYSWELD для моделирования закалки в 2D постановке / Делкам – Урал [Электронный ресурс].* URL: [http://plmural.ru/cae/tehnologicheskij\\_analiz/sysweld\\_modelirovanie\\_zakalki/](http://plmural.ru/cae/tehnologicheskij_analiz/sysweld_modelirovanie_zakalki/) (дата обращения 16.06.2013).

Obработка metallov

N 3 (60), July–September 2013, Pages 31–35

### The effect of the allowance for residual stress hardening of aircraft components

A.S. Bachurin, K.N Bobin, K.A. Matveev, N.A. Ryngach, N.V. Kurlaev

Novosibirsk State Technical University, Prospekt K. Marksa, 20,  
Novosibirsk, 630073, Russia  
E-mail: bachurin.a.s@yandex.ru

Abstract

Finishing machining allowances do not take into account technological heredity, that in some cases leads to a significant percentage of defects in the production of precision parts, that don't have sufficient stiffness. The study of finishing machining allowance value influence on parts quenching stresses is considered in the paper. Modeling is performed as a coupled problem of unsteady heat transfer from the workpiece to the quenching medium and the presence of thermal stresses in the workpiece. The model takes into account the dependence of the heat transfer coefficient and material characteristics from the local temperature of the part section. The calculations revealed that the maximum stresses arising in the preform during thermal processing does not substantially depend on the allowance, but allowance value affects the distribution of stresses within the workpiece. Also calculations revealed areas of the maximum tensile stress concentration and determined the optimal value of the finishing allowance.

Keywords: numerical simulation, quenching stress, machining allowance.

### References

1. *Arendarchuk A.V., Astaf'ev A.A., Bashnin Yu.A.* *Termicheskaja obrabotka v mashinostroenii: Spravochnik* (Heat treatment in machine building: Handbook). Moscow, Mashinostroenie, 1980. 776 p.



2. Isachenko V.P. *Teploperedacha: Uchebnik dlja VUZov* (Heat Transfer: A Textbook for High Schools.). Moscow, Jenergoizdat, 1981. 416 p.
3. Kurlaev N. V., Bachurin A. S., Sljunjaev A. Yu. *Ocenka tochnosti reshenija nestacionarnyh teplyyh zadach i raschet processa zakalki s postepennym pogruzheniem v zakalochnuju sredu metodom konechnyh jelementov* [Assessment of accuracy for the unsteady thermal problems and the calculation of the quenching process with gradual immersion in the quenching medium finite element method]. «Nauka. Promyshlennost'. Oborona»: trudy XIII Vserossijskoj nauchno-tehnicheskoy konferencii [Proceedings of the the 13th All-Russian Scientific and Technical Conference “Science. Industry. Defense” (NSTU, 19-20 April 2012) ]. Novosibirsk, 2012, pp. 64-68.
4. Kurlaev N.V., Ryngach N.A., Narysheva G.G. *Teoreticheskie osnovy samoletov i vertoletostroyeniya: Uchebnoe posobie* (Theoretical basis of aircraft and helicopter: Tutorial). Novosibirsk, NSTU, 2013. 100 p.
5. Lahtin Yu.M., Rahshtadt A.G. *Termicheskaja obrabotka v mashinostroyenii: spravochnik* (Heat treatment in machine building: Handbook). Moscow, Mashinostroyeniye, 1980. 783 p.
6. Panov A.A. *Obrabotka metallov rezaniem: spravochnik tehnologa* (Metal cutting: machine-shop manager’s guide). Moscow, Mashinostroyeniye, 2004. 724 p.
7. Firger V.I. *Termicheskaja obrabotka splavov: Spravochnik* (Heat treatment of alloys: Handbook). Leningrad, Mashinostroyeniye, 1982. 304 p.
8. Harlamov G.A., Tarapanov A.S. *Priputski na mehanicheskuyu obrabotku: Spravochnik* (Machining allowance: Handbook). Moscow, Mashinostroyeniye, 2006. 256 p.
9. Jashhericyn P.I., Ryzhov Je.V., Averchenko V.I. *Tehnologicheskaja nasledstvennost' v mashinostroyenii* (Technological heredity in mechanical engineering). Minsk, Nauka i tehnika, 1977. 256 p.
10. *Primenenie SYSWELD dlja modelirovaniya zakalki v 2D postanovke* (Application SYSWELD for modeling hardening in 2D statement). Available at: [https://plmural.ru/cae/tehnologicheskij\\_analiz/sysweld\\_modelirovanie\\_zakalki](https://plmural.ru/cae/tehnologicheskij_analiz/sysweld_modelirovanie_zakalki) (accessed 16 June 2013).