



УДК 67.05

DOI 10.22363/2312-8143-2017-18-1-91-96

АНАЛИЗ УСЛОВИЙ НАДЕЖНОГО ЗАКРЕПЛЕНИЯ ЗАГОТОВОК ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ НА СТАНКАХ С ЧПУ

Ю.В. Белоусов

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, Москва, Россия, 105005

В статье обоснованы условия надежного закрепления заготовок при токарной обработке на станках с ЧПУ. Получены математические выражения, выполнение которых гарантирует отсутствие повреждений при закреплении в патроне заготовок из пластичных и хрупких материалов. Приведены выражения, позволяющие определить минимальную длину закрепления заготовок в патроне для указанных материалов, а также для вычисления допускаемой силы резания. Показано, что за счет корректировки режимов обработки возможно избежать повреждения поверхностей заготовок при невозможности изменения длины их закрепления в патроне.

Ключевые слова: закрепление, заготовка упругие деформации, сила резания

Современные станки с ЧПУ отличаются высокой жесткостью, мощностью и производительностью за счет широкого диапазона частот вращения шпинделя и подач. На токарных станках заготовка устанавливается в патроне или цанге. При использовании современных режущих инструментов станки с ЧПУ обеспечивают обработку заготовок при повышенных режимах со значительными силами резания, что требует увеличения сил их закрепления. При этом возможно появление в местах взаимодействия кулачков патрона с заготовкой недопустимых пластических деформаций. Поэтому при расчетах условий надежного закрепления заготовок необходимо обеспечить отсутствие повреждения их поверхностей.

Под действием сил и моментов резания заготовка не должна проворачиваться в патроне и смещаться в осевом направлении. Кроме того, на поверхности заготовки недопустимо появление пластических деформаций от кулачков патрона.

Невыполнение условий надежного закрепления заготовок может привести к браку на производстве, поломке режущего инструмента.

Условие надежного закрепления заготовки в трехкулачковом патроне, исключющее ее поворот вокруг оси, обеспечивается, когда момент трения заготовки под действием сил нормального давления кулачков патрона будет больше момента резания:

$$M_{\text{тр}} > M_{\text{р}}, \quad (1)$$

где $M_{\text{тр}}$ — момент трения заготовки о кулачки; $M_{\text{р}}$ — момент резания при обработке заготовки.

Поскольку движение заготовки относительно кулачков патрона исключается, момент трения запишем в следующем виде:

$$M_{\text{тр}} = 3Nf_0R_1, \quad (2)$$

где N — сила нормального давления кулачков патрона на поверхность заготовки; f_0 — коэффициент трения покоя; R_1 — радиус поверхности заготовки.

Силу резания F_p находят расчетным путем по формулам теории резания в зависимости от режимов обработки заготовки, ее материала и материала рабочей части режущего инструмента. Момент резания:

$$M_p = F_p R_1. \quad (3)$$

Тогда с учетом (2) и (3) выражение (1) примет вид

$$3Nf_0R_1 = kF_pR_1, \quad (4)$$

где k — коэффициент запаса по несдвигаемости.

Отсюда сила нормального давления при надежном закреплении заготовки в трехкулачковом патроне

$$N = \frac{kF_p}{3f_0}. \quad (5)$$

Условие надежного закрепления заготовки при возникновении на ее поверхности только упругих деформаций обеспечивается, когда сила нормального давления кулачков будет меньше допустимой силы смятия поверхности заготовки $F_{\text{см}}$:

$$N < F_{\text{см}}. \quad (6)$$

Контакт заготовки с кулачком патрона можно представить как контакт цилиндра (заготовка) и детали с цилиндрической канавкой радиуса R_2 (кулачок), причем радиус R_2 несколько больше радиуса заготовки R_1 .

Согласно [1] максимальное давление (напряжение) в зоне контакта в этом случае

$$q_{\text{max}} = 0,798 \sqrt{\frac{p \frac{R_2 - R_1}{2R_1R_2}}{\theta_1 + \theta_2}}, \quad (7)$$

где $p = F_{\text{см}}/l$ — нагрузка на единицу длины контакта; l — длина закрепления заготовки в кулачках патрона; $\theta_i = (1 - \mu_i^2)/E_i$ — упругие постоянные контактирующих тел; E_i — модуль продольной упругости; μ_i — коэффициент Пуассона.

Допускаемое максимальное контактное давление на площадке соприкосновения кулачков с заготовкой при начальном контакте по линии для стальных

заготовок определим как для зубчатых колес с однородной структурой при их расчете на прочность при действии пиковой (статической) нагрузки [1]:

$$[q_{\max}] = 2,8\sigma_T, \quad (8)$$

где σ_T — предел текучести материала заготовки.

Для хрупких материалов, в частности для чугуна, допускаемое максимальное контактное давление найдем, используя формулу [1; 3]

$$[q_{\max}] = \frac{\sigma_{\text{в.сж}}}{0,56\sqrt[3]{m}}, \quad (9)$$

где $m = \sigma_{\text{в.р}}/\sigma_{\text{в.сж}}$ — коэффициент хрупкости; $\sigma_{\text{в.р}}$ — предел прочности на растяжение; $\sigma_{\text{в.сж}}$ — предел прочности на сжатие.

Для чугуна, у которого $\sigma_{\text{в.р}}/\sigma_{\text{в.сж}} = 1/3 \dots 1/5$,

$$[q_{\max}] = (2,58 \dots 2,83)\sigma_{\text{в.сж}}. \quad (10)$$

Тогда допускаемая сила смятия для стальных заготовок

$$[F_{\text{см}}] = 24,62\sigma_T^2 l(\theta_1 + \theta_2) \frac{R_1 R_2}{R_2 - R_1}. \quad (11)$$

С учетом того, что $E_1 = E_2 = E$, а $\mu_1 = \mu_2 = 0,3$, допускаемая сила смятия стальных заготовок

$$[F_{\text{см}}] = 44,81\sigma_T^2 \frac{lR_1 R_2}{E(R_2 - R_1)}. \quad (12)$$

Допускаемая сила смятия, приводящая к повреждению поверхности чугунных заготовок:

$$[F_{\text{см}}] \approx 22,9\sigma_{\text{в.сж}}^2 l(\theta_1 + \theta_2) \frac{R_1 R_2}{R_2 - R_1}. \quad (13)$$

Поскольку $E_1 \approx 0,67E$, а $\mu_1 = 0,25$ (E_1 и μ_1 — упругие постоянные чугуна), допускаемая сила смятия для чугунных заготовок

$$[F_{\text{см}}] = 52,99\sigma_{\text{в.сж}}^2 \frac{lR_1 R_2}{E(R_2 - R_1)}. \quad (14)$$

Подставив в формулу (6) выражение (5) с учетом (11), получим условие отсутствия повреждения опорных поверхностей стальных заготовок в следующем виде:

$$\frac{kF_p}{3f_0} < 44,81\sigma_T^2 \frac{lR_1 R_2}{E(R_2 - R_1)}. \quad (15)$$

Аналогично для чугунов:

$$\frac{kF_p}{3f_0} < 52,99\sigma_{\text{в.сж}}^2 \frac{lR_1R_2}{E(R_2 - R_1)}. \quad (16)$$

Полученные выражения позволяют определить минимальную длину закрепления заготовки в кулачках, а также допустимую силу резания в случае, если длину закрепления заготовки ввиду ее конструкции изменить невозможно.

Минимальная длина закрепления в кулачках стальных заготовок

$$l_{\text{min}} = \frac{kF_p E(R_2 - R_1)}{134,43 f_0 \sigma_{\text{т}}^2 R_1 R_2}, \quad (17)$$

минимальная длина закрепления в кулачках чугунных заготовок

$$l_{\text{min}} = \frac{kF_p E(R_2 - R_1)}{158,97 \sigma_{\text{в.сж}}^2 R_1 R_2}. \quad (18)$$

Допустимая сила резания при обработке стальных заготовок

$$[F_p] = 134,43 f_0 \sigma_{\text{т}}^2 \frac{lR_1R_2}{kE(R_2 - R_1)}, \quad (19)$$

допустимая сила резания при обработке чугунных заготовок

$$[F_p] = 158,97 f_0 \sigma_{\text{в.сж}}^2 \frac{lR_1R_2}{kE(R_2 - R_1)}. \quad (20)$$

При выполнении условий (17)—(20) на поверхности заготовки возникают только упругие деформации. При невыполнении данных условий необходимо увеличить длину закрепления заготовки в патроне или уменьшить силу резания при ее обработке.

Под силой резания обычно понимается ее главная составляющая (вертикальная при токарной обработке). Она определяется по формуле теории резания, в которую входят режимы обработки. Упрощенное уравнение силы резания имеет вид [2]

$$F_p = K_p \sigma_{\text{в}} f_{\text{н}}, \quad (21)$$

где K_p — коэффициент резания (для большинства конструкционных сталей $K_p = 2,3...2,8$); $\sigma_{\text{в}}$ — предел прочности материала заготовки; $f_{\text{н}} = ab$ — площадь поперечного сечения срезаемого слоя.

Таким образом, корректируя режимы резания, в частности изменяя площадь поперечного сечения срезаемого слоя, можно добиться выполнения условий (19) и (20).

© Белоусов Ю.В., 2017

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] *Биргер И.А., Шорр Б.Ф., Иосилевич Г.Б.* Расчет на прочность деталей машин: справочник. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1993. 640 с.
- [2] *Грановский Г.И., Грановский В.Г.* Резание металлов: учебник для машиностр. и приборостр. спец. вузов. М.: Высш. шк., 1985. 304 с.
- [3] *Deithard T.* Einteilige wealzfräezer vertreiben kosten aus der Scrienfertigung // *WB Werkstatt und Betried*. 2015. № 3. P. 30–32.

История статьи:

Дата поступления в редакцию: 5 декабря 2016

Дата принятия к печати: 22 января 2017

Для цитирования:

Белоусов Ю.В. Анализ условий надежного закрепления заготовок при токарной обработке на станках с ЧПУ // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования*. 2017. Т. 18. № 1. С. 91–96.

Сведения об авторе:

Белоусов Юрий Вениаминович, кандидат технических наук, доцент кафедры основ конструирования машин, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана. *Сфера научных интересов*: детали машин, контактные задачи в машиностроении, упруго-контактные технологические системы. *Контактная информация*: e-mail: belou.80@mail.ru.

ANALYSIS CONDITIONS FOR RELIABLE ATTACH OF WORKPIECES DURING LATHE MACHINING ON THE MASHINES WITH NUMERICAL SOFT-WARE CONTROL

Yu.V. Belousov

Bauman Moscow State Technical University
Baumanskaya 2-ya str., 5, Moscow, Russia, 105005

In the article the conditions are properly secured work pieces when turning on CNC machines. The mathematical expressions that guarantee no damage while fixing in the chuck work pieces of ductile and brittle materials. Expressions allow determining the minimum length of the fastening pieces in the cartridge for these materials, as well as for the calculation of permissible cutting forces. It is shown that by adjusting the processing conditions may prevent damage to the work piece surfaces at the impossibility of changing their length in the fixing chuck.

Key words: binding, elastic deformations of the work piece, the cutting force

REFERENCES

- [1] *Birger I.A., Shorr B.F., Iosilevich G.B.* (1993). Raschet na prochnost detalej mashin:spravochnik. 4-e izd., pererab. i dop. M.: Mashinostroenie, 640 s.

- [2] *Granovskij G.I., Granovskij V.G.* (1985). *Rezanie metallov: uchebnik dlya mashinostr. i priborostr. spets. vuzov*. М.: Vyssh. shk., 1985. 304 s.
- [3] *Deithard T.* Einteilige wealzfraezer vertreiben kosten aus der Scrienfertigung. *WB Werkstatt und Betried*. 2015. № 3. P. 30—32.

Article history:

Received: 5 December 2016

Accepted: 22 January 2017

For citation:

Belousov Yu.V. (2017) Analysis conditions for reliable attach of workpieces during lathe machining on the mashines with numerical soft-ware control. *RUDN Journal of Engineering Researches*, 18(1), 91—96.

Bio Note:

Yury V. Belousov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Basics of Machinery Design, Bauman Moscow State Technical University. *Research Interests*: machine parts, contact issues in mechanical engineering, elastic contact technological systems. *Contact information*: e-mail: belou.80@mail.ru.