

УДК 621.9.62

Колот Л. П., Онищук С. Г.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОЖИДАЕМОГО КОРОБЛЕНИЯ НЕЖЕСТКИХ ДЕТАЛЕЙ С ПЕРЕМЕННЫМ ПО ДЛИНЕ СЕЧЕНИЕМ

Степень изученности влияния остаточных напряжений на точность обработки и сложность этой проблемы до настоящего времени еще не позволили разработать практические рекомендации, позволяющие осуществлять прогнозирование коробления плоскостных деталей с переменным по длине сечением. Это связано, прежде всего, с тем, что уровень остаточных напряжений деталей с переменным по длине сечением изменяется, хотя закон их распределения по сечению может быть и неизменным. В последнее время разработаны теоретические зависимости для определения величины коробления деталей простейшей формы типа «брус» с неизменным по длине сечением [1, 2], учитывающие влияние остаточных деформаций от предшествующих операций.

Целью работы является исследование ожидаемого коробления нежестких деталей с переменным по длине сечением.

Характерным представителем деталей с переменным по длине сечением является клин направляющих фрезерных станков.

Рассмотрим влияние конструктивно-технологических факторов на формирование коробления деталей типа клиньев.

Принимаем следующие допущения:

– коробление происходит в условиях «чистого изгиба» вследствие изменения напряженного состояния детали при удалении припуска, которое можно описать уравнением:

$$\vec{\sigma}_o^R = \vec{\sigma}_o - \vec{\sigma}_0, \quad (1)$$

где $\vec{\sigma}_o^R$ – результирующий вектор остаточных напряжений; $\vec{\sigma}_o$ – вектор остаточных напряжений в исходном до обработки равновесном состоянии; $\vec{\sigma}_0$ – вектор остаточных напряжений, «удаленных» вместе с припуском;

– рассматриваемые детали находятся в линейном остаточном напряженном состоянии;

– в общей погрешности формы в соответствии с принципом суперпозиции при малых деформациях тела можно выделить начальный прогиб f_n , образованный от предшествующей обработки;

– на всех этапах удаления припусков являются правомерными допущения, положенные в основу механических способов определения остаточных напряжений [2–6].

Определим ожидаемую величину коробления клиньев $f_{кор}$, которая является функцией следующих факторов:

$$f_{корi} = f(f_{ni}, h_i, a, l), \quad (2)$$

где f_{ni} – исходная кривизна заготовки в i -м сечении; h_i – толщина клина в i -м сечении; l – длина заготовки клина.

Момент внутренних сил, обуславливающих коробление детали после удаления припуска (рис.1) равен:

$$\Delta M_i^\sigma = M_{1i} - M_{2i} - \Delta M_{ia}^\sigma, \quad (3)$$

где M_{1i} – внешний момент, эквивалентный действию внутренних сил, устраняющих погрешность формы (f_n) заготовки; M_{2i} – внешний момент, устраняющий такой же прогиб в оставшейся части заготовки ($h_i - a$) после удаления припуска «а»; ΔM_{ia}^σ – внешний момент,

эквивалентный действию внутренних сил, возникающих дополнительно после обработки, перераспределения и стабилизации остаточных напряжений (компенсирующий действие остаточных напряжений).

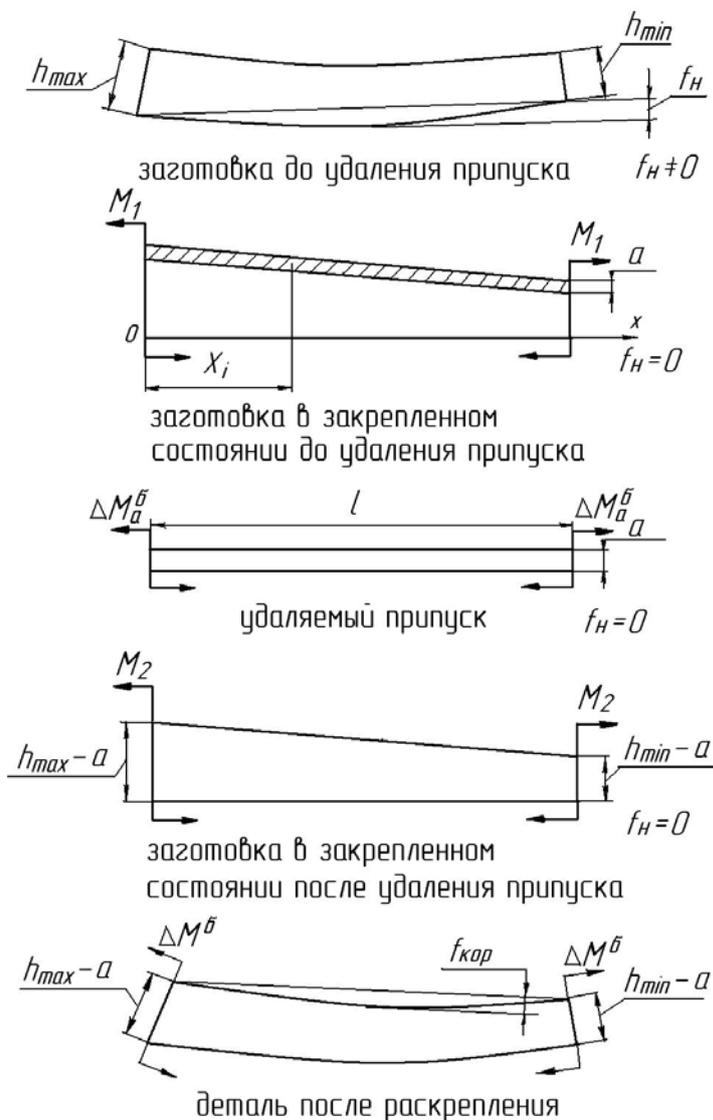


Рис. 1. К расчету ожидаемой величины коробления деталей типа «клиньев»

Значение изгибающих моментов представим в виде:

$$M_{1i} = EJ_{i1} \frac{d^2 f_{ni}}{dx_i^2}, \quad (4)$$

где E – модуль упругости; J_{i1} – момент инерции поперечного сечения заготовки в i -м сечении; X_i – текущая координата по длине заготовки.

$$M_{2i} = EJ_{i2} \frac{d^2 f_{ni}}{dx_i^2}, \quad (5)$$

где J_{i2} – момент инерции поперечного сечения оставшейся части заготовки после удаления припуска a в i -м сечении;

$$M_{ia}^\sigma = EJ_a \frac{d^2 f_{ni}}{dx_i^2}, \quad (6)$$

где J_a – момент инерции поперечного сечения детали, равной толщине припуска a в i -м сечении;

$$\Delta M_i^\sigma = EJ_{i2} \frac{d^2 f_{\text{кори}}}{dx_i^2}, \quad (7)$$

где $f_{\text{кори}}$ – коробление заготовки в i -м сечении.

Толщина клина является переменной величиной по длине заготовки, зависящей от текущей координаты x_i :

$$h_i(x_i) = \frac{lh_{\text{max}} + h_{\text{min}}x_i + h_{\text{max}}x_i}{l}, \quad (8)$$

где h_{max} и h_{min} – значение толщины заготовки при $x = 0$ и $x = l$.

Соответственно толщина заготовки будет равна:

$$h_i(x_i) - a = \frac{l(h_{\text{max}} - a) + (h_{\text{min}} - a)x_i + (h_{\text{max}} - a)x_i}{l}, \quad (9)$$

где a – припуск, удаляемый с заготовки, постоянный по всей длине.

Используя значения изгибающих моментов (4–7) с учетом моментов инерции поперечных сечений в i -м прямоугольном сечении клина, уравнение (3) имеет вид:

$$\begin{aligned} & \frac{[l(h_{\text{max}} - a) + (h_{\text{min}} - a)x_i - (h_{\text{max}} - a)x_i]^3}{l^3} \frac{d^2 f_{\text{кор}}}{dx_i^2} - \frac{(lh_{\text{max}} - h_{\text{max}}x_i + h_{\text{min}}x_i)^3}{l^3} \frac{d^2 f_{\text{ни}}}{dx_i^2} + \\ & + \frac{[l(h_{\text{max}} - a) - x_i(h_{\text{max}} - a) + x_i(h_{\text{min}} - a)]^3}{l^3} \frac{d^2 f_{\text{ни}}}{dx_i^2} + \frac{8f_{\text{ни}}a^3}{l^2} = 0. \end{aligned} \quad (10)$$

С учетом допущений для малых перемещений произведем замену [7]:

$$\frac{d^2 f_{\text{кори}}}{dx_i^2} \approx \frac{1}{\rho_{\text{кор}}(x_i)}, \quad (11)$$

$$\frac{d^2 f_{\text{ни}}}{dx_i^2} \approx \frac{1}{\rho_{\text{н}}(x_i)}. \quad (12)$$

Выразим кривизну заготовки через стрелу прогиба, будем иметь:

$$\frac{1}{\rho_{\text{кор}}(x_i)} = \frac{8f_{\text{кори}}}{l^2}, \quad (13)$$

$$\frac{1}{\rho_{\text{н}}(x_i)} = \frac{8f_{\text{ни}}}{l^2}. \quad (14)$$

Окончательно значение прогнозируемого коробления в i -м сечении клина равноизменяющейся толщины с учетом (13) и (14) представим в виде:

$$f_{\text{кори}} = \frac{f_{\text{ни}} \{ [h_{\text{max}}(l - x_i) + h_{\text{min}} - x_i]^3 - [(h_{\text{max}} - a)(1 - x_i) + x_i(h_{\text{min}} - a)]^3 - a^3 l^3 \}}{[(l - x_i)(h_{\text{max}} - a) + x_i(h_{\text{min}} - a)]^3}. \quad (15)$$

Анализ формулы (15) показывает, что при значении текущей координаты $x = l$ она принимает вид зависимости для определения значения коробления плоскостных деталей с постоянным по длине сечением и является частным случаем выражения (15).

Отсюда следует, что остаточная деформация изгиба деталей типа «клин» при удалении постоянной по длине толщины припуска зависит от начального прогиба $f_{\text{ни}}$ на определенном участке длины заготовки и степени изменения поперечного сечения заготовки, определяемого величиной не только удаляемого припуска, но и закономерности изменения его по длине.

Коэффициент технологической наследственности $K_{(xi)TH}$ коробления для деталей данного типа и характера обработки будет равен:

$$K_{(xi)TH} = \frac{[h_{\text{max}}(l - x_i) + h_{\text{min}}x_i]^3 - [(h_{\text{max}} - a)(1 - x_i) + x_i(h_{\text{max}} - a)]^3 - a^3 l^3}{[(l - x_i)(h_{\text{max}} - a) + x_i(h_{\text{min}} - a)]^3}. \quad (16)$$

В итоге величина ожидаемого коробления деталей типа «клин» равняется:

$$f_{корі} = f_{ні} K_{(X_i)TH} \cdot \tag{17}$$

Таким образом, критерием пооперационного копирования остаточных деформаций, обусловленных короблением, является величина изменения геометрических параметров заготовки не только по толщине, но и по длине.

В производственных условиях после обработки измерения остаточных деформаций клина производили с помощью двух специальных опор (рис. 2), обеспечивающих его наименьший прогиб от собственной массы, устанавливали клин 1 на гранитной поверочной плите 2. Одна из опор – точечная 3, регулируемая по высоте, а другая – ножевая 4.

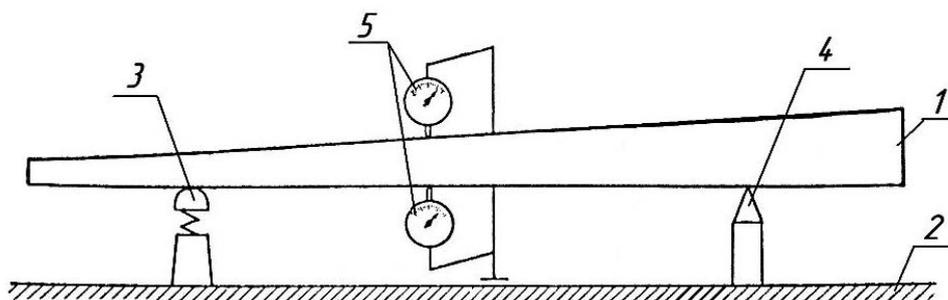


Рис. 2. Схема измерения остаточных деформаций клиньев:

1 – деталь (клин); 2 – поверочная плита; 3 – точечная опора, регулируемая по высоте; 4 – ножевая опора; 5 – индикаторы

На рис. 3 показан характер коробления клина в 10-ти точках по длине. Сплошная кривая отображает начальную измеренную остаточную деформацию клина $f_{корі}$, полученную по формуле (8).



Рис. 3. Схема образования коробления клина:

----- начальная деформация клина $f_{ні}$; - - - - - коробление, полученное расчетным путем $f_{корі}$.

На рис. 4 показана расчетная и экспериментальная кривые, отображающие остаточные деформации клина после удаления припуска $a = 4$ мм. Из рисунка видно, что измеренная форма клина имеет волнистый характер, близкий к расчетному значению.



Рис.4. Схема остаточної деформації f_{Σ} обробленої поверхні клина:
 ----- — раховані значення остаточної деформації; - - - - - експериментальні значення

ВЫВОДЫ

Установлено, що вплив остаточної напруженості на точність обробки деталей з перемінним по довжині сеченням не достатньо вивчено. Це не дозволяє розробити практичні рекомендації, які б дозволили б прогнозувати короблення плоскостних деталей з перемінним по довжині сеченням.

В результаті проведених досліджень отримано аналітичне рішення задачі прогнозування короблення деталей з перемінним по довжині сеченням при їх односторонній обробці.

Установлено величину коефіцієнта технологічної наслідковості короблення для деталей типу «клин».

Теоретично і експериментально встановлено, що остаточної деформація обробленої поверхні деталі з перемінним по довжині сеченням має криволінійну форму, близьку до синусоїдальної з декількома півволнами перемінного шага, причому раховані і експериментальні значення мають близькі значення.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Константинов Л. С. Механизм искривления отливок при их механической обработке / Л. С. Константинов // Известия Вузов. Машиностроение. – 1974. – № 1 – С. 204–209.
2. Внуков Ю. М. Проблеми механічної обробки нежорстких деталей / Ю. М. Внуков, О. Г. Вотінов, О. О. Тітова // Процеси механічної обробки в машинобудуванні. – 2005. – Випуск 1. – С. 55–71.
3. Черепанов А. А. Способы управления показателями точности при изготовлении нежестких деталей / А. А. Черепанов // Известия Вузов. Машиностроение. – 2005. – № 6 – С. 59–66.
4. Кропоткина Е. Ю. Совершенствование технологии обработки нежестких деталей / Е. Ю. Кропоткина // Технология машиностроения. – 2011. – № 9 – С. 21–24.
5. Коцюбинский О. Ю. Коробление чугуновых отливок от остаточных напряжений / О. Ю. Коцюбинский – М. : Машиностроение, 1971. – 175 с.
6. Гликман А. А. Методы определения остаточных напряжений. – В кн. : Чистовая обработка и состояние обработанной поверхности. / под ред. А. А. Маталіна – М. : изд-е Ленингр. ун-та, 1965. – С. 58–98.
7. Шваб'юк В. І. Опір матеріалів: навч. посіб. для студентів ВНЗ / В. І. Шваб'юк – К. : НТУ «КПІ», 2009. – 380 с.