

## ПРОГРЕССИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ТЕРМОСИЛОВОЙ ОБРАБОТКИ НЕЖЕСТКИХ ДЕТАЛЕЙ ТИПА ВАЛ

**Драчов А.О. (ТГУ, Тольятти, РФ), Растворгусев Д.А. (ТГУ, Тольятти, РФ),  
Тараненко Г.В. (СевНТУ, Севастополь, Украина), Тараненко В.А. (ЛТУ, Люблин,  
Польша),**

*Results of development and researching of new technology of thermo-force processing of low-rigid long-length shafts are presented in article. The construction of device for realization of developed technology of thermo-force processing is described. The construction is based on multi-layer berth with thrust sleeves. Results of analytical and experimental investigations of straightness of processed long-length shaft axis are given.*

### ВВЕДЕНИЕ

Во многих современных агрегатах, машинах и приборах применяются ответственные нежесткие детали типа вал [1, 2]. Непрерывный рост объема производства нежестких валов обусловлен совершенствованием прочностных расчетов, оптимизацией форм деталей и конструкций, постоянным снижением металлоемкости изделий и возрастающим выпуском прецизионных машин. Диспропорция в конструктивных параметрах нежестких длинномерных валов (НДВ) создают серьезные технологические трудности в производстве, основные причины которых следующие: а) значительные упругие и пластические деформации на всех стадиях обработки, сборки и эксплуатации деталей; б) низкая виброустойчивость и различная податливость элементов технологических систем обработки; в) значительное влияние технологической наследственности на надежность работы; г) коробление заготовок, вызванное неравномерными остаточными напряжениями, вносимыми на всех стадиях обработки; д) малая термоустойчивость деталей. Отрицательное действие перечисленных факторов при изготовлении нежестких длинномерных валов приводит к нарушению технологических баз, погрешностям формы и размеров деталей, поверхностным дефектам, ограничению режимов резания и как следствие – снижение производительности, не использование точностных возможностей станка и стойкости инструментов и, конечно, итоге, к снижению эксплуатационной надежности изготовленных НДВ.

Анализ производственного опыта изготовления НДВ в индивидуальном, мелкосерийном и серийном производствах показал, что традиционные способы обработки жестких деталей малоэффективны для производства нежестких валов, поэтому вопросы их изготовления на практике решаются ограничением режимов обработки, вводом операций ручной доводки. Такой путь существенно увеличивает трудоемкость обработки и не гарантирует требуемого качества изделий. В связи с изложенным, совершенствование технологических процессов изготовления НДВ является важной задачей, повышающей эффективность производства и качество продукции машиностроения.

Наиболее слабым звеном технологической системы являются обрабатываемые заготовки. Их значительные упругие и пластические деформации на всех стадиях технологического процесса приводят к ограничению режимов обработки, погрешностям форм и размеров. Повышение точности обработки заготовок на всех операциях способствует улучшению эксплуатационных свойств машин и приборов, частичному или полному устранению пригоночных работ и приводит к уменьшению припусков на обработку. Это, в свою очередь, снижает трудоемкость изготовления деталей и сборки машин, увеличивает их надежность. Достижения и исследования отечественных и

зарубежных ученых в вопросах повышения производительности, эксплуатационной точности и качества готовых изделий, а также результаты промышленного их использования показывают, что основными направлениями интенсификации процессов обработки являются: выбор технологических режимов и условий протекания процесса, которые обеспечивают заданную точность деталей; разработка сплавов, обладающих высокой размерной стабильностью, относительно низким и стабильным коэффициентом термического расширения, высокой теплопроводностью материала НДВ и высоким модулем упругости; управление технологической наследственностью.

Необходимость применения сложных технологических операций стабилизирующей обработки обусловлена тем, что самопроизвольность изменения формы и размеров приводит к изменению выходных параметров и снижению надежности прецизионных машин. Необходимо обеспечивать стабильность в условиях длительной эксплуатации при постоянной и переменной температурах (-50<sup>0</sup>...+100<sup>0</sup>С). Известно, что наиболее полной характеристикой размерной стабильности материала во времени является величина максимального напряжения, нерелаксирующего во втором периоде испытаний (500....3500 часов), которую называют условным пределом релаксации. Эту величину и рекомендуется использовать в качестве основной характеристики стабильности сплавов в машиностроении.

**Целью** работы является рассмотрение особенностей обеспечения стабильности формы и размеров нежестких деталей типа валов. В связи с поставленной целью **задачи работы** заключаются в аналитическом определении прямолинейности оси вала при термосиловой обработке; разработке новой технологии термосиловой обработки нежестких длинномерных валов с примером реализации; повышение эксплуатационной точности готовых изделий путем создания равномерных знакопеременных остаточных напряжений по всей длине заготовки.

## **АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЯМОЛИНЕЙНОСТИ ОСИ ВАЛА ПРИ ТЕРМОСИЛОВОЙ ОБРАБОТКЕ**

Для изготовления НДВ применяются заготовки из пруткового материала, которые в поставке имеют значительную кривизну. Перед механической обработкой необходимо проводить правку заготовок до прямолинейности 0,5 мм на 1 метр [3], которая обеспечивает при последующем точении получение вала с заданным допуском на кривизну его оси. Недостатком правки изгибом является образование остаточных напряжений, неравномерных по продольному сечению заготовки вала, которые при последующем удалении слоя процессом механической обработки создают изгибающий момент и, соответственно, изменяют прямолинейность оси вала [4].

Широкое распространение получила осевая правка. При вытягивании цилиндрической заготовки все волокна выводятся в предел текучести, поэтому существовавшие ранее осевые остаточные напряжения, снимаются. При действии осевой правки при остаточной деформации 0,5 – 1% остаточные напряжения снимаются полностью [5].

Исследования, проведенные на термосиловой установке [6] для осевой правки НДВ из сталей аустенитного класса типа 12Х18Н10Т совмещается с операцией закалки (последняя производится для повышения коррозионной стойкости стали), причем последующий отпуск не требуется [8]. Стали аустенитного класса имеют большой коэффициент термического расширения (КТР) и низкий предел текучести, поэтому для создания осевого усилия правки по окончании нагрева заготовки вала под закалку, ее концы фиксируют в стапеле, изготовленном из стали, имеющей КТР ниже, чем материал заготовки вала и производится охлаждение стапеля с заготовкой в зажатом состоянии. За счет разности КТР, при охлаждении возникает осевое усилие, которое, действуя на заготовку вала, производит осевую правку последнего. В качестве стапеля

применяется жесткая труба из стали 20, перфорированная по поверхности отверстиями, предназначенными для проникновения охлаждающей среды. Захваты выполнены по концам стапеля.

В данном процессе под качественной осевой правкой заготовки вала понимается такая, при которой под воздействием осевой силы правки ни одно волокно в каждом поперечном сечении заготовки не имеет напряжения больше предела текучести материала при сжатии, а при последующем вытягивании, в любом поперечном сечении по всей его площади образуются напряжения, не меньше предела текучести.

Под максимальным исходным прогибом заготовки понимается такой начальный прогиб, при котором в крайнем сжимаемом волокне возникают напряжения сжатия, не больше предела текучести при температуре, которая соответствует выходу искривленной оси вала в прямую линию. В противном случае, в поперечном сечении заготовки образуется наклеп «сжатия», который при дальнейшем вытягивании до предела текучести полностью не снимается за счет эффекта Баушингера. В результате образуется несимметричная зона наклена, которой соответствует несимметричное относительно оси симметрии поперечного сечения распределение остаточных напряжений, влияющее в последующем на прямолинейность вала. Установлено, что ось заготовки длинно-мерного вала наиболее близко описывается уравнением параболы второй степени:

$$f(z) = \frac{4\delta_{\max}}{l} \cdot z \cdot \left(1 - \frac{z}{l}\right), \quad (1)$$

где  $\delta_{\max}$  - максимальный исходный прогиб заготовки,  $l$  - расстояние между центрами крайних сечений вала.

Максимальное напряжение, возникающее в крайнем волокне при вытягивании изогнутой оси вала в прямую линию, определяется по формуле:

$$\sigma_{\max} = \frac{(\delta_{\max} \cdot F)}{W_x}, \quad (2)$$

где  $F$  - осевое усилие,  $W_x$  - момент сопротивления поперечного сечения заготовки вала.

Величина  $F$  определяется по зависимостям [7], преобразование которых приводит к выражению:

$$F = \frac{(3\pi \cdot D^4 \cdot E)}{20l^2}, \quad (3)$$

где  $D$  - диаметр заготовки вала.

Обозначая отношение  $l$  к  $D$  через  $K_0$ , получим:

$$\delta_{\max} \leq \frac{(5K_0^2 \cdot D \cdot \sigma_T)}{24E}. \quad (4)$$

Так как максимальные напряжения сжатия в сжимаемом волокне возникнут при охлаждении вала на температуру  $\Delta T$ , соответствующую укорочению до величины выбора максимального исходного прогиба, а также изменения  $\sigma_T$  и  $E$  с падением температуры ( $\sigma_T = \sigma_T(t)$ ,  $E = E(t)$ ), выражение (4) преобразуется к виду:

$$\delta_{\max} \leq \frac{5K_0^2 \cdot D \cdot \sigma_T(t - \Delta T)}{24E(t - \Delta T)}. \quad (5)$$

Очевидно, что при уменьшении температуры вала на  $\Delta T$ , длина его сократится на:

$$\Delta l = \Delta\alpha(t) \cdot l \cdot \Delta T, \quad (6)$$

где  $\Delta\alpha(t)$  - разность КТР материала заготовки вала и стапеля, функционально зависящая от температуры.

В свою очередь, сокращение длины вала  $\Delta l$  при остывании должно обеспечить выход искривленной оси в прямую, то есть:

$$\Delta l = \delta_1 + 2\delta_2, \quad (7)$$

где  $\delta_1$  - расстояние, необходимое для «выбора» прогиба заготовки вала и определяемое как:

$$\delta_1 = \frac{8 \cdot \delta_{\max}^2}{3l},$$

$\delta_2$  - зазор между торцом стапеля и торцом стопорящего прилива, равный:

$$\delta_2 = \frac{2D_{np} \cdot \delta_{\max}}{l},$$

где  $D_{np}$  - диаметр приливов.

Обозначив отношение диаметра захватывающего прилива (или гайки) к диаметру заготовки вала через  $C$ , имеем:

$$\Delta T = \frac{1}{\Delta\alpha(t) \cdot l^2} \left( \frac{8}{3} \delta_{\max}^2 + 4C \cdot D \cdot \delta_{\max} \right). \quad (8)$$

Подставляя зависимость (8) в (5) и решая относительно  $\delta_{\max}$ , определяется максимальный исходный прогиб заготовки вала в зависимости от ее геометрии и физических свойств материала.

В частности, для заготовок вала из сталей 12Х18Н10Т и стапеля из стали 20 они имеют следующий вид:

$$\Delta\alpha = 1,43 \cdot t^{-0,205}, \quad E = 2688 \cdot t^{-0,075}, \quad \sigma_T = 84,1 \cdot t^{-0,314},$$

где  $t$  - температура нагрева.

Сравнение расчетных величин исходного качественного прогиба с информацией о величинах реальных исходных заготовок из стали 12Х18Н10Т диаметром от 20 до 80 мм и отношением длины к диаметру от 30 до 80 показывает, что встречаются исходные заготовки, имеющие начальный прогиб больше исходного качественного. Поэтому перед правкой заготовки для длинномерных валов необходимо подбирать по исходному прогибу, учитывая зависимость (5). Так для валов из стали 12Х18Н10Т заготовки длиной 1050 мм и диаметром 30 мм должны иметь исходный качественный прогиб не более 3,4 мм, на практике встречаются заготовки такого габарита с прогибом до 6 мм.

Прогиб заготовки, который можно выпрямить с помощью термосиловой обработки, с учетом того, что такой правке подвергаются заготовки с исходным прогибом не больше максимального качественного, определяются из следующего: при остывании укорочение заготовки должно покрывать следующую сумму удлинений:

$$\Delta l = \delta_1 + 2\delta_2 + \delta_3 + \delta_4, \quad (9)$$

где  $\delta_3$  - укорочение стапеля за счет действия нагрузки от сокращающейся заготовки вала, равное:

$$\delta_3 = \frac{\sigma_T \cdot l}{E_{cm} \cdot K_s},$$

где  $\sigma_T$  - предел текучести материала заготовки при  $20^0\text{C}$ ,  $E_{cm}$  - модуль упругости материала стапеля при  $20^0\text{C}$ ,  $K_s$  - отношение жесткости стапеля к жесткости заготовки,  $\delta_4$  - удлинение, которое необходимо придать заготовке, чтобы крайнее волокно, имеющее напряжения сжатия, приобрело напряжения, не меньшие предела текучести материала вала при растяжении, равное:

$$\delta_4 = \frac{(\sigma_k + \sigma_T) \cdot l}{E_{20^0}},$$

где  $\sigma_k$  - напряжение в крайнем волокне сечения максимального прогиба заготовки, образующееся при вытягивании искривленной оси вала в прямую линию.

Согласно (4) имеем выражение для  $\sigma_k$ :

$$\sigma_k = \frac{24D \cdot E_t \cdot \delta_{\max}}{5l^2},$$

где  $E_t$  - модуль упругости материала вала при температуре нагрева.

Решая (9) относительно  $\delta_{\max}$ , получим:

$$\delta_{\max} = -D \left( 0.9 \frac{E_t}{E_{20}^0} + \frac{3}{4} C \right) + \\ + D \frac{1}{2} \sqrt{\left( 1.8 \frac{E_t}{E_{20}^0} + 1.5C \right)^2 + 1.5K_0^2 \frac{\sigma_T}{E_{20}^0} \left( \frac{\Delta\alpha \cdot t \cdot E_{20}^0}{\sigma_T} - \frac{E_{20}^0}{E_{CT} K_s} - 1 \right)}, \quad (10)$$

где  $t$  - температура нагрева,  $\Delta\alpha$  - разность КТР материала заготовки и материала стапеля в диапазоне температур от  $20^0\text{C}$  до температуры нагрева.

Анализ исходных прогибов заготовок различных габаритов, расчеты максимального исправляемого прогиба в стапеле, а также практика показывают, что данным способом можно проводить осевую правку заготовок валов с одновременной термической обработкой, при этом исправляя исходный прогиб заготовки, вытягивая волокна в любом поперечном сечении в предел текучести и формируя, тем самым, в теле заготовки симметричные относительно оси остаточные напряжения.

## НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ТЕРМОСИЛОВОЙ ОБРАБОТКИ НЕЖЕСТКИХ ДЛИН-НОМЕРНЫХ ВАЛОВ

Анализ технологии изготовления НДВ, в частности, операции термосиловой обработки [2, 6, 9] показал, что недостатком известных технологических приемов является невозможность удерживать изделие – вал в напряженном состоянии при снижении температуры до  $20^{\circ}\text{C}$  так как стапель сжимается быстрее вала. Это совместно с тем, стенки стапеля тонкие и он охлаждается в несколько раз быстрее, создавая зазор между торцом разрезной втулки захвата, тем самым, освобождая изделие при охлаждении и создавая неравномерность внутренних сжимающих сил. Кроме того, отвод тепла по концам заготовки протекает быстрее ввиду контакта концов изделия с гайкой, что приводит к неравномерности остаточных напряжений по длине изделия.

Техническим результатом новой технологии термосиловой обработки НДВ является повышение точности и стабильности геометрических параметров, повышение эксплуатационной точности готовых изделий путем создания равномерных знакопеременных остаточных напряжений по всей длине заготовки [11].

Сущность новой технологии термосиловой обработки НДВ заключается в следующем. Деталь 1 предварительно обрабатывают на токарном станке с применением люнетов [2] и формируют рабочий профиль 2 следующих видов (рис.1):

а) резьбовой, при этом ее шаг определяется пределом прочности материала и величиной поперечного сечения заготовки, а также глубина нарезки резьбы (ее внутренний диаметр) не должна превышать припуск на механическую обработку;

б) ступенчатый, при этом разность наружного и внутреннего диаметров также определяется пределом прочности материала и величиной поперечного сечения заготовки и не должна превышать припуск на механическую обработку.

После этого на заготовку при обработке деталей с резьбой распорные втулки 3 навинчивают на деталь, а при обработке ступенчатых деталей распорные втулки 3 накладывают на деталь по принципу вкладышей подшипников скольжения (втулка состоит из двух частей). Втулки изготавливают из материала, коэффициент линейного расширения которого  $\alpha_{6m}$  меньше коэффициента линейного расширения материала детали  $\alpha_{dem}$ . Длина втулок рассчитывается из условия равнопрочности той части

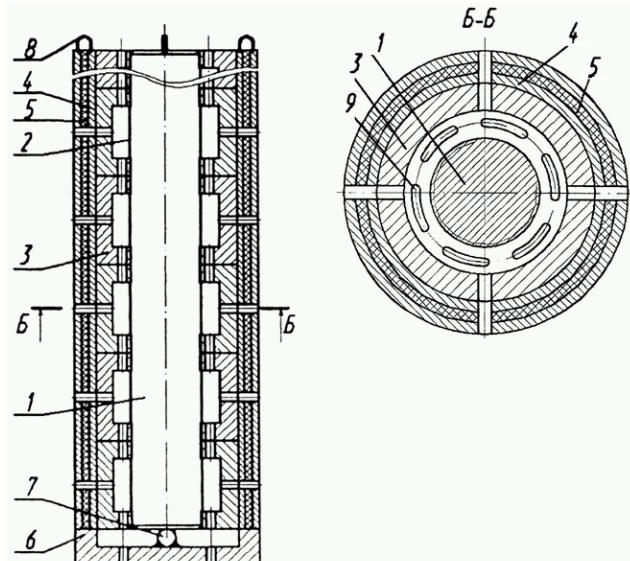


Рис. 1. Устройство для термосиловой обработки НДВ, реализующее новую технологию

изделия, на которой установлена втулка, а также из условия минимизации стрелы прогиба. Причем для обеспечения равномерности сжатия вдоль оси детали принимаем отношение длин  $l_1 = l_2$ ,  $l/d \leq 8$  для обеспечения жесткости сжимаемой части детали. Во втулках 3 изготовлены отверстия 9, причем их форма и расположение выполнены так, что при любом взаимном расположении двух соединений втулок обеспечивается проход охлаждающей жидкости.

Собранный деталь 1 с распорными втулками 3, причем распорные втулки выполнены с резьбой, если на детали есть резьба или накладными, состоящими из двух частей, если деталь ступенчатая, вставляют с заранее рассчитанным тепловым зазором в многослойный стапель 4 и фиксируют по нижнему и верхнему торцам стапеля. Стапель изготовлен из материала, коэффициент линейного расширения которого равен коэффициенту линейного расширения втулок (для исключения заклинивания из-за температурных деформаций), с наполнителем 5. Наполнитель 5 может иметь разный коэффициент теплопроводности (например, речной песок с перемешанной чугунной стружкой).

Корпус стапеля выполняют многослойным, каждый слой которого имеет дополнительный объем, заполненный материалом с более низким коэффициентом теплопроводности, причем материал стапеля подбирают с коэффициентом линейного расширения, превышающим коэффициент линейного расширения заготовки. В многослойном корпусе выполняют сквозные отверстия в продольном и поперечном направлениях, в которые монтируют втулки, изготовленные из того же материала, что и стапель. Внутренний диаметр втулок и их количество устанавливают из условия протекания технологического процесса (закалка, отпуск и т.д.) и геометрических параметров заготовки (например, гладкий или ступенчатый вал). Фиксация детали может выполняться по двум вариантам:

а) Фиксация детали происходит по нижнему торцу посредством сферы 7, жестко закрепленной с крышкой 6 на нижнем торце, таким образом, заготовка опирается своим нижним концом на сферическую поверхность и, тем самым, обеспечивается точечный контакт со стапелем;

б) Фиксация детали происходит по двум торцам посредством двух сфер 7, жестко закрепленных с крышками 6 на нижнем и верхнем торцах. При таком способе закрепления деталь жестко связана со стапелем по оси.

Фиксация детали 1 происходит по двум торцам посредством двух сфер 7, жестко закрепленных с крышками 6 на нижнем и верхнем торцах. При таком способе закрепления деталь жестко связана со стапелем по оси. К верхней части стапеля 4 приварены четыре проушины 8 для подвеса всей конструкции. Для избежания прогиба детали 1 под действием напряжений, возникающих при нагреве – охлаждении конструкции: деталь – распорные втулки – стапель, зазор между втулками 3 и стапелем 4 должен быть минимальным, обеспечивающим работу устройства без заклинивания.

Собранный конструкцию опускают в шахтную печь и нагревают согласно технологии термообработки до температуры закалки или отпуска и т.д. и выдерживают при этой температуре до полного прогрева детали. При нагреве деталь удлиняется больше, чем втулки и стапель, за счет разницы коэффициентов линейного теплового расширения. Подбирая численные значения положительной разности коэффициентов линейного теплового расширения детали и втулок, получают величину пластической деформации детали, превышающую предел пропорциональности, то есть предел закона Гука. Осевая пластическая деформация за пределами пропорциональности (закон Гука) при нагреве устраняет технологическую наследственность от предыдущих операций. Кроме

того, под действием осевых нагрузок происходит деформационное упрочнение материала детали (наклеп), сглаживание внутренних микротрещин.

Далее стапель с заготовкой охлаждают до заданной температуры, варьируя разность времени охлаждения заготовки и стапеля, и сохраняют осевое напряженное состояние материала заготовки до полного охлаждения, одновременно, проводят правку кривых заготовок. В отличие от известных, сущность новой технологии заключается в изменении последовательности технологических приемов, где пластическая деформация изделия проходила при остывании, причем стапель остывает раньше, чем вал, и остаточное напряжение носит локальный характер [6]. В новой технологии пластические деформации происходят при нагревании с заданной скоростью, причем стапель удлиняется больше изделия на разность коэффициентов линейного теплового расширения, и на разность длин стапеля и заготовки, а при охлаждении стапеля его скорость остывания в пять раз и более, меньше скорости охлаждения заготовки (заготовка должна остывать с большей скоростью, чем стапель, минимум в пять раз – в зависимости от среды остывания: масло, вода, воздух). В заготовке при остывании с осевым нагружением формируются остаточные напряжения, знакочередующиеся по длине и равномерные по поперечному сечению детали, что исключает коробление готовых деталей при эксплуатации.

Для расширения технологических возможностей термосиловой обработки многослойный стапель выполняют сборно-секционным, причем с необходимостью увеличения длин заготовок, величин пластической деформации, длину стапеля наращивают, путем увеличения количества секций.

На рис. 2 показано сравнение внутренних напряжений в детали до и после применения термосиловой обработки. Кроме того, увеличиваются прочностные характеристики детали.

Использование новой технологии термосиловой обработки позволяет минимизировать величину прогиба заготовки и стабилизировать уровень остаточных напряжений по ее длине, что позволяет улучшить эксплуатационную точность готовых изделий, например, нежестких длинномерных валов, и повысить качество готовых изделий.

**ПРИМЕР РЕАЛИЗАЦИИ.** Заготовка вала изготовлена из стали 10Х17Н13М2Т, а стапель и втулки – из стали 08Х13, температурные удлинения рассчитываются по формуле:

$$\Delta L = \alpha_{dem}(T^\circ) \cdot T^\circ \cdot L - \alpha_{em}(T^\circ) \cdot T^\circ \cdot L,$$

где  $\Delta L$  – разность удлинения заготовки вала и втулки,  $T^\circ$  – температура нагрева,  $L$  – длина втулки и участка вала.

Величина пластической деформации:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}.$$

При  $L = 200$  мм,  $T^\circ = 1050^\circ C$ ,  $\alpha_{dem} = 18,5 \cdot 10^{-6}$  мм/мм град,  $\alpha_{em} = 12,8 \cdot 10^{-6}$  мм/мм град:  $\Delta L = 18,5 \cdot 10^{-6} \cdot 1050 \cdot 200 - 12,8 \cdot 10^{-6} \cdot 1050 \cdot 200 = 1,197$  мм.

Величина пластической деформации:

$$\varepsilon = \frac{1,197}{200} = 0,5985\%.$$

Расчет времени охлаждения проводится при следующих параметрах: диаметр вала 40 мм, внутренний диаметр стапеля 160 мм, наружный 260 мм, наполнитель – песок, смешанный с чугунной стружкой, охлаждающая среда – масло с температурой 30°.

Время охлаждения вала рассчитывается по формуле:

$$\tau = \frac{F_0 \cdot d^2 \cdot \gamma \cdot c}{4\lambda} \text{ с,}$$

время охлаждения стапеля определялось частным решением уравнения:

$$\theta_0 / \theta' = \Phi_0(B_i, F_0),$$

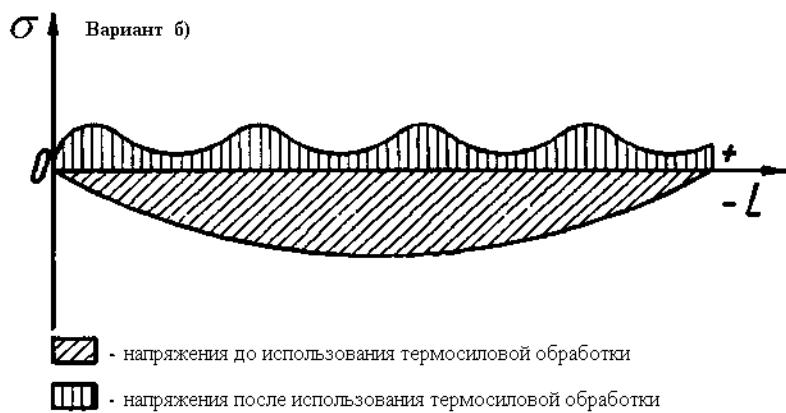
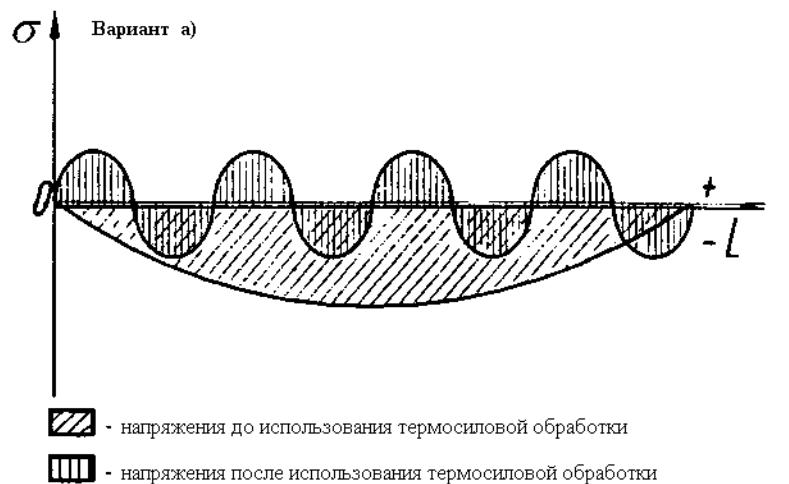


Рис. 2. Зависимости изменения остаточных напряжений в детали до и после термосиловой обработки: вариант закрепления с фиксацией детали по нижнему торцу посредством сферы – а), вариант закрепления с фиксацией детали по двум торцам посредством двух сфер – б)

где  $F_0 = \frac{\alpha'}{\delta^2}$  - критерий Фурье, который определяется, как функция относительных температур  $\theta_0 / \theta'$  и критерия Вио, который, в свою очередь, равен:

$$B_i = B_0 / \lambda_{\text{экв.}},$$

где  $\delta$  - радиус длинномерного вала (в данном случае вал представляется бесконечно длинным цилиндром радиусом  $\delta$ ,  $\lambda_{\text{экв.}}$  - эквивалентная теплопроводность системы: втулка – стапель,  $B_0$  - коэффициент теплоотдачи от окружающей среды к поверхности тела,  $\gamma$  - объемный вес материала. Исходя из подбора материала втулок и стапеля к данному материалу вала, на протяжении всего цикла термообработки имеем положительную разницу коэффициентов температурного расширения  $\alpha_{\text{дем}}$  и  $\alpha_{\text{ст}}$  (рис.3).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана прогрессивная технология термосиловой обработки нежестких длинномерных валов и методика определения прямолинейности оси длинномерного вала при термосиловой обработке последнего. Разработана установка для термосиловой обработки заготовок осесимметричных длинномерных деталей, включающая в себя многослойный стапель с комплектом распорных втулок, изготовленных из материала, коэффициент линейного расширения которого меньше, чем коэффициент линейного расширения материала заготовки. Многослойный стапель с втулками обеспечивают осевую деформацию заготовки и минимальный поперечный прогиб вследствие сил тяжести, а также необходимую скорость охлаждения. Многослойный стапель заполнен наполнителем и снабжен крышкой со сферическими поверхностями, обеспечивающими фиксацию заготовки в осевом направлении.

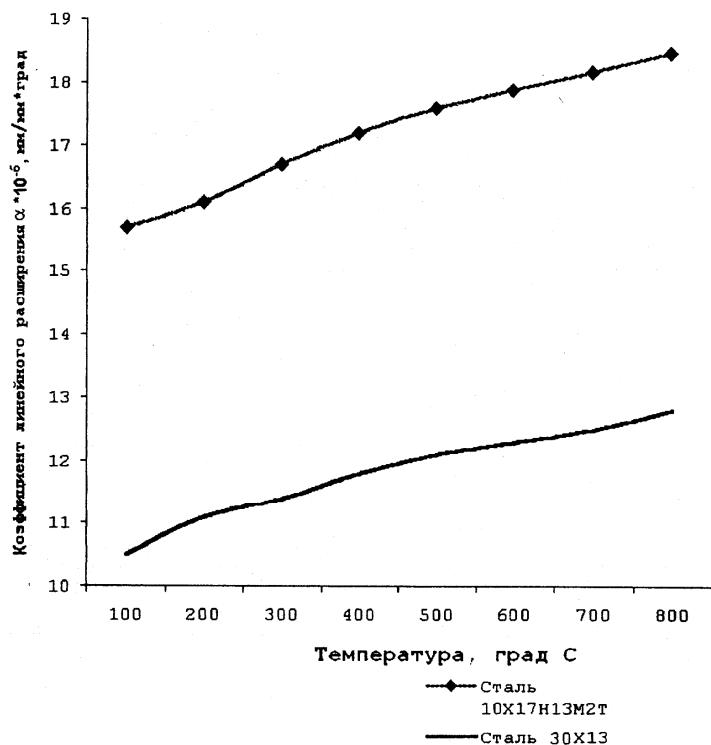


Рис. 3. Зависимости изменения коэффициентов температурного расширения  $\alpha_{\text{дем}}$  и  $\alpha_{\text{ст}}$  для материалов детали, втулок и стапеля

Для расширения технологических возможностей термосиловой обработки многослойный стапель выполняют сборно-секционным, причем с необходимостью увеличения длины заготовок, величин пластической деформации, длину стапеля наращивают, путем увеличения количества секций.

Осевая пластическая деформация за пределами пропорциональности (закон Гука) при нагреве устраняет технологическую наследственность от предыдущих операций.

Кроме того, под действием осевых нагрузок происходит деформационное упрочнение материала детали (наклеп), сглаживание внутренних микротрещин.

Использование новой технологии термосиловой обработки позволяет минимизировать величину прогиба заготовки и стабилизировать уровень остаточных напряжений по ее длине, что позволяет улучшить эксплуатационную точность готовых изделий, например, нежестких длинномерных валов, и повысить качество готовых изделий.

Из результатов экспериментальных исследований обработки по новой технологии следует, что коробление заготовок НДВ после 600 часов выдержки не превышало 1,15% по сравнению с заготовками, обработанными по стандартной технологии.

Экономический эффект от использования предложенной технологии термосиловой обработки заготовок НДВ более 30 млн. рублей.

**Список литературы:** 1. Taranenko W., Świć A. Technologia kształtuowania części maszyn o małej sztywności. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2005.- 282 s. 2. Draczow O., Taranenko W. Technologia modułowa wytwarzania osiowosymetrycznych wałów długowymiarowych. ZESZTY NAUKOWE Politechniki Rzeszowskiej **NR 230 МЕХАНИКА, z. 67 - MODUŁOWE TECHNOLOGIE I KONSTRUKCJE W BUDOWE MASZYN**, Rzeszow 2006. – S. 47 – 50 3. Беляев Г. С., Табачников П. И. Технология производства валов. – М.: Машгиз, 1961. 191 с. 4. Подпоркин В. Г. Обработка нежестких деталей. – М.: Машгиз, 1959. – 231 с. 5. Биргер И. А. Остаточные напряжения. – М.: Машгиз, 1963. - с. 6. Авторское свидетельство СССР № 1407969 Устройство для закалки валов малой жесткости. Драчев О. И. и др. Б. И. № 25, 1988. – 3 с. 7. Писаренко Г. С., Яковлев А. Г., Матвеев В. В. Справочник по сопротивлению материалов. – Киев: Наукова Думка, 1975. – 387 с. 8. Зюзина В. И., Третьяков А. А. Теория прокатки. Справочник. – М.: Металлургия, 1982. – 341 с. 9. Мазур В. К., Мураткин Г. В. Экспериментальное определение влияния исходного состояния заготовки и механической обработки на точность маложестких валов. Тезисы областной научно-технической конференции «Прогрессивная технология обработки маложестких деталей», Тольятти, 1987. – С. 102. 10. Драчев О. И. и др. Экспериментальная установка для термомеханической обработки деталей. / Технология и автоматизация машиностроения. Киев: Техника, 1991. – С.40 – 44. 11. Патент на изобретение РФ № 2235794 C2, 7 C21D 9/06. Способ и устройство для термосиловой обработки осесимметричных длинномерных деталей. // Драчев О. И. (РФ), Археткин А. В. (РФ), Драчев А. О. (РФ), Яшкина Т. Л. (РФ), БИ № 25, 2004. – 15 с.

Надійшла до редколегії 15.04.2009 р.

## ПРОГРЕССИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ТЕРМОСИЛОВОЙ ОБРАБОТКИ НЕЖЕСТКИХ ДЕТАЛЕЙ ТИПА ВАЛ

**Драчов А.О., Расторгуев Д.А., Тараненко Г.В., Тараненко В.А.**

У роботі розглянуті особливості забезпечення стабільності форми і розмірів нежорстких деталей типу валів. Вирішенні завдання аналітичного визначення прямолінійності осі валу при термосиловій обробці; розробки нової технології термосилової обробки нежорстких довгомірних валів з прикладом реалізації; підвищення експлуатаційної точності готових виробів шляхом створення рівномірної знакозмінної залишкової напруги по всій довжині заготівки.

**термосиловая обработка, вал, нежесткая деталь, напряжения**