

Результати розрахунку ділянок газопроводу

Позначення ділянки	V _р , м ³ /год	DxS, мм	Довжина ділянки		P _н , кПа	P _к , кПа
			I _ф , м	I _р , м		
1-2	6500	530x6	520	572	120	115,3
2-3	4700	530x6	90	99	115,3	111,7
3-4	3200	426x8	680	748	111,7	108,1
4-5	2400	108x4	200	220	108,1	102
2-6	1800	219x6	490	539	115,3	111
3-7	1500	273x7	2460	2706	111,7	108
4-8	800	273x7	5930	6523	108,1	106,2

Таблиця 2

Порівняльні результати дослідження

Позначення ділянки	Фактичний діаметр, мм	Фактичні витрати на металосмкість		Розрахунковий діаметр, мм	Розрахункові витрати на металосмкість		Різниця витрат, %	
		тонн	тис. грн.		тонн	тис. грн.	маса	грн.
1-2	530x6	40,321	213,720	530x6	40,321	213,720	0	0
2-3	530x6	6,978	36,990	530x6	6,978	36,990	0	0
3-4	530x6	52,727	279,480	426x7	49,184	245,072	7	12
2-6	219x6	15,445	81,830	219x6	15,445	81,830	0	0
3-7	325x6	116,112	713,830	273x7	97,194	600,240	16	16
4-5	108x4	2,052	11,000	108x4	2,052	11,000	0	0
4-8	325x6	279,896	1720,737	273x7	234,294	1446,920	16	16
Всього	-	513,531	3057,587	-	445,468	2635,772	13	14

Висновок. В результаті проведених досліджень були визначені геометричні параметри магістрального газопроводу середнього тиску м.Славути Хмельницької області. Одержані результати показали, що ділянки газопроводу 3-4, 3-7, 4-8 мають збільшені діаметри труб. Використання на даних газопроводах труб з уточненими розмірами дозволяють зменшити метало та фінансові витрати на будівництво даного газопроводу.

Література

1. Рубинштейн С.В., Щуркин Е.П. Газовые сети и оборудование для сжиженных газов. – Л.: Недра, 1991. – 252 с.
2. Безпека в газовому господарстві. Методичні вказівки до контрольних робіт для студентів інженерних спеціальностей заочної форми навчання / Г.С. Калда, О.О. Овчинников, М.А. Нестер, А.М. Тараненко. – Хмельницький: ХНУ, 2005. – 51 с.
3. Ионин А.А. Газоснабжение. – М.: Стройиздат, 1978. – 383 с.
4. Скафтымов Н.А. Основы газоснабжения. – Л.: Недра, 1975. – 343 с.

Надійшла 18.2.2009 р.

УДК 621.98

Е.Ю. БАЛАЛАЕВА

Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь

В.В. КУХАРЬ

Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ КЛЕЕВОГО СОЕДИНЕНИЯ КОЛЬЦЕВОГО УПРУГОГО КОМПЕНСАТОРА ПЕРЕКОСОВ ПОЛЗУНА ПРЕССА И ЗАЩИТНЫХ ПЛАСТИН

Разработана методика расчета напряжений в клеевом соединении кольцевого упругого компенсатора с защитными пластинами. Построен ряд эпюр касательных напряжений в зависимости от параметров компенсатора. Определены участки нанесения клея, ограниченные зоной действия касательных напряжений, не превышающих предельные значения. Получены зависимости для определения расстояний от нейтральной линии раздела течения материала, на которые наносится клеевой слой. Приведены результаты моделирования работы упругого элемента с помощью разработанного программного обеспечения.

The method of stress analysis in glued connection of the ring elastic compensator with protective plates is considered. Series of shearing stress distribution diagram depending on parameters of compensator are plotted. The parts of gluing limited by effective area of shear stresses, which are within limits, are determined. The dependences for determination of distances from the neutral line of partition of material current, which are glued on, are found. The results of modeling of the work of elastic element using the developed soft are resulted.

Постановка проблеми. Технологічні операції, виконані на фізично застарілих кривошипних пресах, супроводжуються перекосами ползуна, що знижує стійкість інструмента і усугубляє умови його експлуатації [1]. Несхопність системи «прес– штамп» призводить до несхопності отштампованих деталей вихідним чертежам, а підвищення износа направляючих і робочих частей штампа обумовлює їх поломки, що влечет за собою суттєві матеріальні і часові затрати на ремонт.

Стойкість деформуючого інструмента підвищують в основному за рахунок розробки методик раціонального проектування робочих матриць і штампов [2], а також відновлення і упрочнення изнашуваних елементів [3, 4], що направлено на ліквідацію експлуатаційних наслідків.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Погрешності в системі «прес–штамп» зменшують шляхом використання різних конструкцій компенсуючих елементів, які розташовані між опорними поверхностями ползуна і верхньої плити штампа. Широке розповсюдження отримали пружні компенсатори, розраховані як на визначені технологічні зусилля [5–7], так і універсальні [8]. Основа таких компенсаторів частіше за все служать пластини з поліуретану, який характеризується збереженням стабільних характеристик жорсткості на протязі декількох мільйонів циклів навантаження, а так же елементи кріплення штампа к ползуну преса.

Відомий спосіб кріплення верхньої плити к ползуну преса через пружний компенсатор [9]. Однак існує загроза растрескивання пружної пластини із-за того, що при сжатті, під впливом зусилля деформування, матеріал може затекати в нетехнологічні отвори, образує області підвищеної концентрації напружень і нерегламентованих деформацій.

Для рішення даної проблеми розроблено і опробовано варіант кріплення верхньої плити к ползуну преса [10], згідно котрому на опорну поверхню верхньої плити штампа встановлюють кільцевий пружний компенсатор, розміщений між двома шліфованими металічеськими пластинами з центральним отвором і з'єднаний з ними при допомозі клеєвого з'єднання. Недостатком даного способу є відсутність оптимальних режимів склеювання (клей наносять на всю площу поверхностей контакту захисних пластин і пружного елемента), які необхідно визначати виходячи з конструктивно-технологічних особливостей кільцевого компенсатора і фізико-механічних характеристик клею.

Постановка цілі досліджень. Цілью нинішньої роботи є дослідження напружень в клеєвому з'єднанні кільцевого пружного компенсатора з захисними пластинами для визначення оптимальних параметрів склеювання, що дозволить зменшити затрати клею, знизити касательні напруження в клеєвому шарі для покращення умов роботи поліуретанового елемента і підвищити ефективність анігіляції погрешностей напрямлення ползуна.

Изложение основного материала. Розглядається схема кріплення верхньої плити штампа к ползуну преса, показана на рис. 1, заключається в установці штампа на стіл преса, опусканні ползуна в крайнє нижнє положення з касанням в опорну поверхню верхньої плити, регулюванні міжштампового простору і закріпленні верхньої плити к ползуну преса через компенсатор в формі пружного кільця, розміщеного між двома металічеськими пластинами з центральним отвором і з'єднаною з пластинами при допомозі клею. Причєм клей наносять тільки на участки, де касательні напруження, виникаючі при роботі компенсатора, не перевищують напруження прочності клеєвого з'єднання.

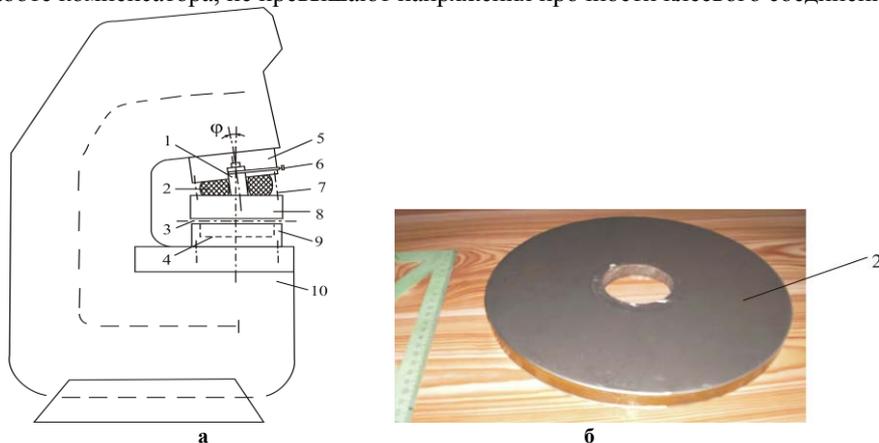


Рис. 1. Схема кріплення верхньої плити штампа к ползуну преса (а) і фотографія кільцевого пружного компенсатора з захисними пластинами (б): 1- хвостовик; 2 – компенсатор; 3 – лінія різьба штампа; 4 – контур штампуючого изделия; 5 – ползун; 6 – фіксувальна шпилька; 7 – кріпильні елементи; 8 – верхня плита; 9 – нижня плита; 10 – станина; φ- угол перекоса ползуна

Деформация полиуретанового кольца, показанная на рис. 2, предполагает наличие нейтральной линии течения материала, т.е. линии раздела между перемещениями полиуретана внутрь и наружу кольца. Границей течения материала является поверхность, определяемая радиусом R_k , в точках которого контактное касательное напряжение τ равно нулю. Увеличение внешнего радиуса ΔR и уменьшение внутреннего радиуса ΔR_n определяют по аналогии течения деформируемой кольцевой металлической заготовки в трех характерных точках (показаны на рис. 2 б индексами 1, 2 и 3 при обозначениях) согласно рекомендациям источника [11]. Однако в рассматриваемом случае учитывается неравномерность деформации, обусловленная перекосом ползуна на угол φ при определенном технологическом усилии сжатия P .

Давление сжатия p при осадке кольцевого полиуретанового компенсатора распределяется по его диаметру неравномерно, поэтому использование формулы источника [11] для его определения требует локального подхода с учетом неравномерности деформации упругого элемента по высоте.

Для учета неравномерности радиальной деформации по высоте авторами получена зависимость для определения радиуса нейтральной линии течения материала:

$$R_k = 63,25 \sqrt{\left(R^2 R_n^2 (R^2 - R_n^2) \right) / \left(8000 R^2 R_n^2 \cdot \ln(R/R_n) + 1599 h^2 (R^2 - R_n^2) \right)}, \quad (1)$$

где R – внешний радиус компенсатора;

R_n – внутренний радиус компенсатора;

h – высота компенсатора после осадки.

Касательное напряжение в клеевом слое соединения полиуретанового кольца с металлическими защитными пластинами рассчитывают согласно рекомендациям источника [12] по формуле:

$$\left. \begin{aligned} \tau \left(x, \frac{\delta_{кл}}{2} \right) &= -\mathcal{G}_1 P_0 \frac{D}{2\delta_{зн}} \int_0^{\infty} \frac{(\delta \cdot ch\delta + sh\delta)}{\psi(\delta)} \cdot \left(ch\delta\varepsilon + \frac{\delta\varepsilon}{sh\delta\varepsilon} \right) I_0 \left(\frac{\delta x}{\delta_{зн}} \right) I_1 \left(\frac{\delta D}{2\delta_{зн}} \right) d\delta, \\ \delta &= \varepsilon \delta_{зн}, \quad \varepsilon = \delta_{кл} / 2\delta_{зн}, \quad \psi(\delta) = \mathcal{G}_1 \left(ch\delta\varepsilon + \frac{\delta\varepsilon}{sh\delta\varepsilon} \right) (sh\delta \cdot ch\delta + \delta) + \mathcal{G}_2 (sh^2\delta - \delta^2) sh\delta\varepsilon, \\ \mathcal{G}_1 &= \lambda_{кл} + \mu_{кл} / \lambda_{зн} + \mu_{зн}, \quad \mathcal{G}_2 = \mu_{зн} (\lambda_{кл} + 2\mu_{кл}) / \mu_{кл} (\lambda_{зн} + 2\mu_{зн}), \\ \lambda_{кл} &= E_{кл} \nu_{кл} / (1 + \nu_{кл}) (1 - 2\nu_{кл}), \quad \lambda_{зн} = E_{зн} \nu_{зн} / (1 + \nu_{зн}) (1 - 2\nu_{зн}), \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где x – текущая координата;

$\delta_{кл}$ – толщина клеевого слоя;

P_0 – удельное давление;

$D = 2R_k$;

I_0, I_1 – функция Бесселя нулевого и первого порядка;

$\delta_{зн}$ – толщина защитной пластины;

ε – параметр интегрирования;

$\lambda_{кл}, \lambda_{зн}, \mu_{кл}, \mu_{зн}$ – упругие постоянные Ламе для клея и защитных пластин;

$E_{кл}, E_{зн}$ – модули упругости клея и защитных пластин;

$\nu_{кл}, \nu_{зн}$ – коэффициенты Пуассона для клея и защитных пластин.

Для достижения оптимальных характеристик склеивания нанесение клея (diagum FL, diagum P, diaflex) производится только на участки, ограниченные зоной действия рабочих касательных напряжений τ со значениями, не большими, чем предельные величины τ_k . Согласно предложенной методике построен ряд эпюр касательных напряжений в зависимости от геометрических параметров компенсатора и определены зоны, для которых $\tau < \tau_k$. Путем совмещения вычислительных экспериментов с методикой планирования эксперимента (по плану 2^3) была получена зависимость для определения расстояний a и b от линии раздела течения R_k до внешнего и внутреннего краев компенсатора соответственно, на которые следует наносить клей для обеспечения условия $\tau < \tau_k$:

$$\begin{aligned} a &= 10,283 + 0,034 \cdot S/D + 0,46 \cdot S/H_0 - 1,109 \cdot \varepsilon + 0,135 \cdot S/D \cdot S/H_0 - 0,073 \cdot S/H_0 \cdot \varepsilon - 0,034 \cdot S/D \cdot \varepsilon - \\ &\quad - 0,015 \cdot S/D \cdot S/H_0 \cdot \varepsilon; \quad b = 0,929 \cdot a, \end{aligned} \quad (3)$$

где S – толщина стенки компенсатора;

D – внешний диаметр компенсатора;

H_0 – начальная высота компенсатора;

ε – степень деформации компенсатора.

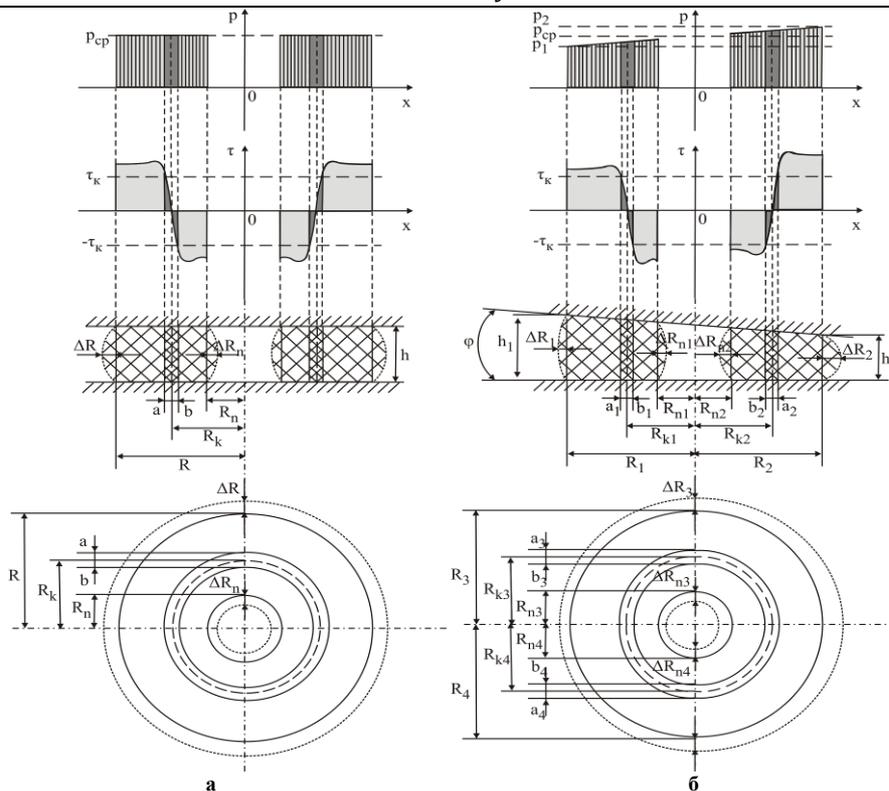


Рис. 2. Деформация кольцевого упругого компенсатора без учета (а) и с учетом (б) неравномерности деформации по высоте

Эффективность нанесения клея только на участки поверхностей упругого компенсатора на расстояниях a и b от линии R_k состоит в минимизации напряжений, приводящих к разрушению клеевого слоя, а также позволяет снизить затраты клея путем определения оптимальных зон закрепления компенсатора в межштамповом пространстве.

На основе разработанной математической модели написано программное обеспечение в среде Borland Delphi 7, интерфейс которого показан на рис. 3, для исследования деформаций упругого элемента и определения участков склеивания кольцевого компенсатора с защитными пластинами.

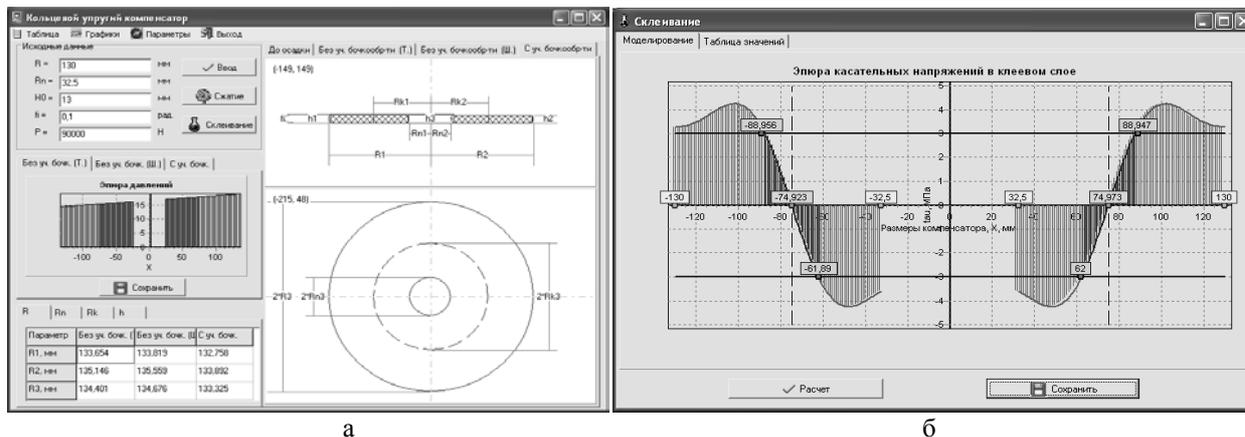


Рис. 3. Моделирование работы кольцевого упругого компенсатора (а) и эпюра касательных напряжений в клеевом слое (б)

Проведено моделирование работы упругого кольцевого компенсатора погрешностей направления ползуна кривошипного пресса, параметры которого приняты в соответствии с описанными в источнике [10]: внешний радиус $R = 130$ мм, внутренний радиус $R_n = 32,5$ мм, $H_0 = 13$ мм, усилие сжатия $P = 0,09$ МН, угол перекоса ползуна $\varphi = 0,1$ рад. Согласно полученным результатам, клей целесообразно наносить на участки поверхности компенсатора, ограниченные расстояниями $a_1 = 14,03$ мм и $a_2 = 13,97$ мм до внешнего края и $b_1 = 13,03$ мм и $b_2 = 12,97$ мм до внешнего края от нейтральной линии, причем $R_{k1} = 74,92$ мм и $R_{k2} = 74,97$.

Выводы. Разработана математическая модель для расчета касательных напряжений в клеевом соединении кольцевого упругого компенсатора с защитными пластинами, получены функциональные

зависимости для определения участков склеивания, для которых характерны величины напряжений, не превышающие предельных значений. В результате обеспечивается долговечная работа компенсатора, а также снижается расход клея путем снижения площади для его нанесения на зоны закрепления компенсатора в защитных пластинах в зависимости от конструктивно-технологических особенностей кольцевого компенсатора и физико-механических характеристик клея. Перспективами исследований в данном направлении являются учет влияния цикличности нагружений упругого компенсатора на прочность клеевого соединения и разработка методики расчета угловых перекосов системы «пресс-штамп».

Литература

1. Діамантопуло К.К., Кухарь В.В., Евтеев А.И. Компенсация несоосности системы «пресс-штамп» изношенного штамповочного оборудования // *Металлургические процессы и оборудование*. – № 2. – Июнь 2005 г. – С.31-34.
2. Справочник конструктора штампов: Листовая штамповка / Под ред. Л.И. Рудмана. – М.: Машиностроение, 1988. – 496 с.
3. Кассов В.Д. Оптимизация восстановления деталей металлообрабатывающего оборудования // *Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем: Зб.наук.пр.* – Краматорськ: ДДМА, 2000. – № 10. – С.5 4-57.
4. Огородников В.А., Сердюк В.Ф. Відновлення деталей машин методом пластичної формозміни // *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. – 1996. – № 3. – С. 58-62.
5. Діамантопуло К.К., Гримани В.Е. Компенсатор погрешностей направления ползуна прессов // *Защита металлургических машин от поломок: Сб. научн. тр.* – Вып.3. – Мариуполь, 1998.
6. Пат. 11782 Україна, МПК6 В 21 В 23/00. Компенсатор похибок напрямку переміщення повзуна преса / К.К. Діамантопуло, В.В. Кухар, Д.В. Єрмолов (Україна). – № u200505677; Заяв. 13.06.2005; Опубл. 16.01.2006, Бюл. № 1. – 4 с., іл.
7. Пат. 837 Україна, МПК6 В 21 В 23/00. Компенсатор похибок / К.К. Діамантопуло, О.В. Василевський (Україна). – № 200004673; Заявл. 06.12.2000; Опубл. 14.11.2001. – Бюл. № 11 – 2 с., іл.
8. Пат. 38814 Україна, МПК (2006) В 30 В 15/28; В 21 В 23/00. Універсальний компенсатор похибок напрямку повзуна / В.В. Кухар, О.Ю. Балалаєва, В.С. Макєєв (Україна). – № u20086973; Заявл.20.05.2008; Опубл. 26.01.2009, Бюл. № 2. – 4 с., іл.
9. Пат. № 37242 Україна, МПК (2006) В 30 В 15/28. Спосіб кріплення верхньої плити штампа до повзуна преса / В.В. Кухар, К.К. Діамантопуло, О.О. Лаврентік, О.Ю. Балалаєва, В.С. Макєєв (Україна). – № u200806345; Заявл. 13.05.2008; Опубл. 25.11.2008, Бюл. № 22. – 3 с.
10. Опыт эксплуатации кольцевого компенсатора погрешностей направления ползуна кривошипного преса / К.К. Діамантопуло, В.В.Кухарь, Е.Ю. Балалаєва, А.И. Евтеев // *Теория и практика листового проката: Сб. научн. тр. Часть 1.* – Липецк: ЛГТУ, 2008. – С. 176-182.
11. Теория обработки металлов давлением (Вариационные методы расчета усилий и деформаций) / И.Я. Тарновский, А.А. Поздеев, О.А. Ганаго, В.Л. Колмогоров, В.Н. Трубин, Р.А. Вайсбурд, В.И. Тарновский. – М.: Металлургиздат, 1963. – 672 с.
12. Исследование напряжений в клеевом слое клееклепаных соединений / С.Г. Кушнаренко, В.А. Матвиенко, А.И. Зирка, Е.И. Поздняков // *Обработка материалов давлением в машиностроении*. – Вып. 17. – Харьков: Вища школа, 1979. – С.55-58.

Надійшла 8.3.2009 р.

УДК 621.01

А.М. КУРКО, П.Д. СТУХЛЯК

Тернопільський державний технічний університет ім. Івана Пулюя

ЗАСТОСУВАННЯ РУХОМОЇ РЕАКТИВНОЇ ЛАНКИ ДЛЯ АВТОТРАНСФОРМАЦІЇ ПОТУЖНОСТІ В ЗУБЧАСТОМУ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНОМУ МЕХАНІЗМІ

Розглянуто зубчастий диференціальний механізм як замкнену систему з рухомою реактивною ланкою, що, з одного боку, бере участь у зміні кінематичних співвідношень між ланками, а з іншого – створює необхідні реакції для передавання відповідного крутного моменту до вихідної ланки. Це, разом із силовим замиканням, забезпечує передумову отримання синергетичного ефекту – безступеневу автотрансформацію потужності.

Tooth differential mechanism as the close system with the moving reactive link which on one hand, takes part in the kinematics correlations change between the links, and, on the other, creates the necessary reaction for the transmission certain torque to the initial link, has been analysed. As a result it provides together with the force coupling the basis for obtaining the synergism effect, step less power auto transformation.