



Я. Б. Немировський /к. т. н./

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

Управління точністю виробів, оброблених деформуючим протягуванням (Повідомлення 2)

A. B. Nemyrovskiy /Cand. Sci. (Tech.)/

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnyts'kyi, Ukraine

Accuracy control for products manufactured by deforming broaching (Message 2)

Мета. Розробка науково обґрунтованих технологічних методів управління параметрами точності деталей, оброблених деформуючим протягуванням.

Методика. Теоретичне та експериментальне дослідження механіки процесу, які дозволили встановити основні причини формування похибок при деформуючому протягуванні та визначити шляхи управління параметрами точності.

Результати. Створено наукове підґрунтя технологічного управління параметрами точності деталей, оброблених деформуючим протягуванням, що полягає у визначення особливостей деформування різновтовщинних заготовок та деталей, оброблених з малими натягами, а також у розробці науково обґрунтованих схем, способів протягування інструмента і технологічних рекомендацій, що забезпечують необхідну точність обробки.

Наукова новизна. Створено наукове підґрунтя технологічного управління параметрами точності при деформуючому протягуванні, що полягає в розробці математичних моделей та експериментальних дослідженнях механіки процесу і забезпечує визначення причин утворення геометричних похибок в осередку деформації та розробку шляхів технологічного управління параметрами точності.

Практична значущість. Можливість розробки технологічних процесів на основі деформуючого протягування, а саме обробки отворів різновтовщинних деталей, відновлення геометричної точності зношених поршневих пальців, обробка внутрішньої порожнини гільз ДВС із сірого чавуну. (Іл. 4. Бібліогр.: 14 назв.)

Ключові слова: деформуюче протягування, точність, осередок деформації, ділянка контакту, поза-контактні зони, деформування, різновтовщинність, геометрична похибка.

Другим важливим напрямом підвищення точності оброблених деталей є вплив на деформування в зоні контакту. Це можливо здійснити за рахунок вибору раціональних режимів протягування та геометрії інструмента, що дозволяє знизити варіацію зміни осьових розмірів заготовки. Особливо істотно це впливає на зниження такого виду похибки, як вигин осі, що має місце при обробці різновтовщинних деталей. Так, розрахунки, згідно з виразом (7)* чітко визначили оптимальні значення кута α і натягів, що знижують викривлення осі оброблених заготовок.

Експерименти з вивчення деформованого стану оброблених заготовок показали, що схема протягування також впливає на осьові деформації. Отже, вибір необхідної схеми роздачі є одним з варіантів, що можуть впливати на течію матеріалу

в зоні контакту. Нами встановлено, що при використанні схеми з обмеженням осьової деформації ліквідуються похибки, зумовлені наявністю локальної зміни товщини стінки (буртами, ланцями, канавками). Але ця схема має конкретну область свого використання (протягування тонкостінних деталей значної довжини). При обробці часто використовуваної схеми розтягнення, базування заготовки також реалізується за рахунок бурта або канавки на зовнішній поверхні, прилеглої до торця. Це змінює товщину стінки на ділянці базування, що, у свою чергу, впливає на радіальні та осьові деформації та призводить до виникнення значних похибок.

Для ліквідації цієї проблеми нами розроблено новий спосіб роздачі. Відповідно до цього способу (рис. 11) ділянку заготовки 1, яка використову-

*Тут і далі нумерація формул і рисунків продовжується відповідно до Повідомлення 1. Див.: Немировський Я. Б. Управління точністю виробів, оброблених деформуючим протягуванням (Повідомлення 1) // *Металургическая и горнорудная промышленность*. – 2018. – № 2. – С. 75–83.

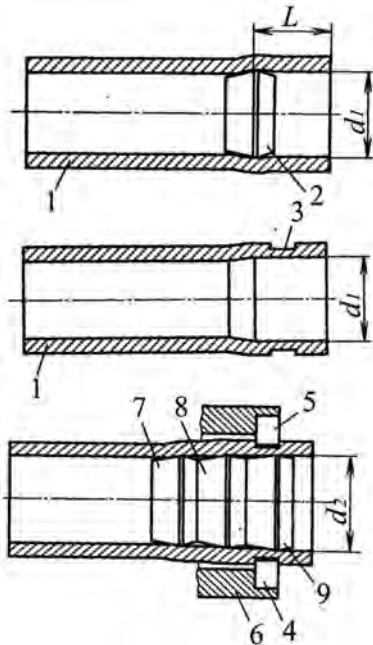


Рис. 11. Попередня підготовка бази при протягуванні за схемою розтягнення

ється для базування, необхідно попередньо роздавати деформуючим елементом 2 на конкретну величину:

$$e_1 = (0,85 \div 0,9) \cdot e_2,$$

де e_2 – необхідна деформація отвору.

Після здійснення попередньої деформації на цій ділянці підготовлюють базу 3 для закріплення заготовки (наприклад розрізними півкільцями 4 і 5) в опорі 6 при її остаточній обробці. У процесі роздачі деформуючими елементами 7, 8, 9 ділянка, що має перепади товщини стінки, практично не деформується, а та незначна деформація (e_2, e_1) використовується тільки для пластичного деформування мікронерівностей поверхневого шару. Так, наприклад, використання цього способу при обробці за схемою розтягнення заготовок (розмірами $t_0/d_0 = 0,25$ $L = 250$ мм і буртом $t_0/d_0 = 0,35$ довжиною 15 мм) деформуючим елементом з кутом $\alpha = 12$ та натягом $a/d_0 = 0,375$ дозволило зменшити максимальну похибку отвору майже вдвічі (з 0,73 до 0,36 мм).

Окремим напрямом підвищення точності обробки нерівножорстких деталей, що мають значний перепад жорсткості у поперечному перерізі (рис. 8) є вищеописаний спосіб деформування різнотовщинних заготовок, згідно з яким пластична деформація локалізується на пластичних ділянках перерізу, а ділянки з більшою товщиною залишаються жорсткими, не деформованими.

При обробці отворів у виробках із чавуну, яка виконується, як відзначалося вище, з малими натягами та незначними сумарними деформаціями, має місце стабільна усадка отвору, яка може перевищувати номінальний натяг [12]. Тобто

створюються умови для здійснення додаткової пластичної деформації поверхні отвору за відсутності її поблизу зовнішньої поверхні.

Таку додаткову пластичну деформацію можна здійснити, використовуючи зворотній хід інструмента через вже оброблений отвір. При цьому кут нахилу твірної зворотного конуса деформуючого елемента α_1 повинен перевищувати кут α і визначатися відповідно до залежності (11), отриманої в праці [12]:

$$\alpha_1 = (3,24 - 3,96)\alpha^{0,96}$$

У цьому випадку має місце тільки пластична деформація поверхневого шару, а зовнішня поверхня деформується пружно, що виключає її руйнування. Це не спотворює форму отвору, а навпаки, поліпшує його точність за рахунок зниження і вирівнювання висотного параметра шорсткості Rz .

Третім напрямом управління точністю при ДПР є усунення зовнішніх факторів, що спотворюють вісесиметричність деформування заготовки. До таких зовнішніх збурюючих факторів необхідно віднести похибки базування інструмента і заготовки, тобто їх неспіввісність. Очевидно, що виключення цього фактора значно збільшить точність обробки. Це реалізується такими конструкторсько-технологічними прийомами.

Вибором оптимальної схеми протягування та її удосконаленням, що дозволяє не тільки стабілізувати течію матеріалу в осередку деформації, але й створити умови для ліквідації неспіввісності інструмента і заготовки.

Одним з таких шляхів поліпшення базування при деформуванні тонкостінних деталей за схемою розтягнення є новий спосіб. Відповідно до нього (рис. 12) на стержні протяжки 1 розміщують із можливістю відносного осьового переміщення додатковий конічний елемент 2, призначений для його з'єднання з вільним кінцем заготовки. При переміщенні деформуючих елементів 4 і 5 через заготовку відбувається її роздача. При цьому додатковий конічний елемент 2 своєю зовнішньою конічною поверхнею контактує із внутрішньою поверхнею вільного кінця деталі. Введення додаткового елемента 2 дозволило реалізувати базування по двох торцях та збоку внутрішньої

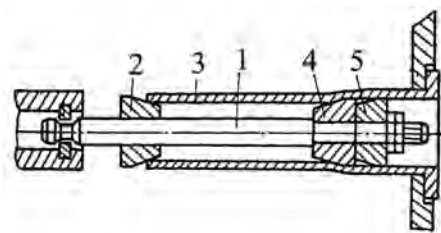


Рис. 12. Новий спосіб роздачі, що усуває неспіввісність базування

поверхні отвору, що забезпечило співвісність інструмента і заготовки. Більш того, при прагненні різнотовщинної заготовки вигнутися створюється стабілізуючий момент, що перешкоджає вигину деталі. Цим забезпечується зменшення цього виду похибки.

Забезпечити мінімальне відхилення осей інструмента і заготовки для деталей, оброблюваних за схемою стиснення, можна реалізувати за рахунок розробленої нової схеми зустрічного деформування (рис. 13). У цьому випадку базування виконується по двох торцях та з боку внутрішньої поверхні отвору (рис. 13). Згідно з цим способом деформування заготовки здійснюється двома ідентичними деформуючими елементами 1 і 2 одночасно з обох торців. Ідентичні деформуючі елементи переміщуються назустріч і співвісно один одному по спільній осі 3. Цей спосіб має безсумнівні переваги порівняно з відомою схемою стиснення: поліпшує умови базування заготовки 4, виключає дію осьової сили на опорний торець, зменшує похибки на ділянках, прилеглих до торців, а також скорочує трудомісткість обробки.

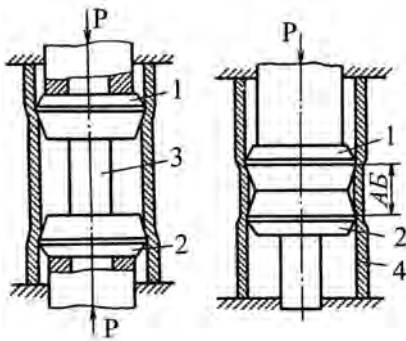


Рис. 13. Новий спосіб зустрічного деформування

Також поліпшує базування по одному з торців та з боку внутрішньої поверхні використання на деформуючих протяжках додаткових конструктивних елементів, а саме: передніх та задніх направляючих. Їх застосування особливо ефективно в тих випадках, коли передня направляюча контактує з необробленою поверхнею за рахунок пружності в радіальному напрямку, а задня – з обробленою.

У деяких випадках на виключення неспіввісності інструмента і заготовки можна впливати з боку зовнішньої поверхні заготовки. Для цього можна застосувати ряд відомих конструкцій опор [13] з розсувними в радіальному напрямку опорними елементами, що забезпечує зниження жорсткості в цьому напрямку. Заготовка центрується поверхнями опорних елементів і опирається торцем на опорні площадки. При роздачі тонкостінних заготовок їх зовнішній діаметр збільшується, а опорні та підтримуючі елементи опори пружно розсуваються, продовжуючи базувати заготовку

по опорному торцю та зовнішній поверхні, але такі конструкції опор не забезпечують умов надійного базування при обробці різнотовщинних заготовок.

Набагато ефективнішою для цього випадку є опора [14], в якій базування виконуються кількома опорними кулачками. Кулачок для базування являє собою двоплечий важіль, опорний кінець якого взаємодіє із зовнішньою поверхнею заготовки, а другий кінець пов'язаний жорстким вісесиметричним кільцем, яке має можливість переміщення в окружному напрямку. При роздачі заготовки опорні поверхні кулачків завжди надійно контактують із зовнішньою поверхнею оброблюваної заготовки, що забезпечує співвісне базування навіть при обробці різнотовщинних деталей.

Жорсткі (не деформовані опори) [6] дозволяють ефективно боротися з такими видами похибок: вигин осі заготовки, її різнотовщинність і максимальна похибка отвору.

Описаний раніше спосіб протягування з попередньою роздачею кільцевої ділянки і підготовкою на ній бази під остаточну роздачу також поліпшує умови базування.

Неоднорідність механічних характеристик деталі, що також спотворює вісесиметричність деформації, усувається додатковим стабілізуючим відпалом.

Вплив ваги інструмента та деталі на процес деформування усувається за рахунок роздачі на вертикальних пресах, або використанням спеціальних опор та пристроїв, що супроводжують і підтримують інструмент у процесі його переміщення через заготовку.

Для усунення похибок зовнішньої поверхні розроблено нову схему роздачі, відповідно до якої необхідна сумарна деформація здійснюється в парне число проходів, причому після першого проходу змінюється опорний торець. Експерименти з реалізації розробленої схеми свідчать, що її використання дозволяє досягти потрібного результату – забезпечити геометричну точність зовнішньої поверхні після обробки.

Наведемо дані про шляхи управління точністю деталей, оброблених деформуючим протягуванням у вигляді схеми (рис. 14). Така схема дозволяє залежно від наявного устаткування, розмірів і технічних вимог до деталей використати отримані результати для вибору оптимального шляху досягнення необхідної точності.

Висновки. На основі аналізу проведених досліджень встановлено:

– геометричні похибки деталей, оброблених ДПР, утворюються, як у контактній, так і поза-контактних зонах осередку деформації і обумовлені: нестійкістю деформування в ньому, варіаці-



Рис. 14. Технологічні варіанти управління точністю деталей, оброблених деформуючим протягуванням

єю в окружному напрямку осьових деформацій різнотовщинних заготовок, впливом зовнішніх збуджуючих факторів (похибок базування, неоднорідностей механічних властивостей матеріалу, вихідних похибок заготовки та ін.), що спотворюють віссиметричність деформування;

- визначено шляхи управління параметрами точності при ДПР, які реалізуються за рахунок усунення нестійкості деформування у позаконтактних зонах, зменшення неоднорідності осьових деформацій різнотовщинних в окружному напрямку заготовок, усунення збуджуючих факторів, що спотворюють віссиметричність деформування, виключення похибок форми зовнішньої поверхні деталі;

- для цього розроблено науково обґрунтовані способи деформування, нові схеми протягування, конструкції інструментів, визначено раціональні режими протягування, що дозволяє управляти параметрами точності оброблених виробів.

Бібліографічний список / References

1. Качество поверхности, обработанной деформирующим протягиванием / А. М. Розенберг, О. А. Розенберг, Э. И. Гриценко, Э. К. Посвятенко. – К.: Наук. думка, 1977. – 188 с.
 Rozenberg A. M., Rozenberg O. A., Gritsenko E. I., Posvyatenko E. K. *Kachestvo poverkhnosti, obrabotannoy deformiruyushchim protyagivaniem*. Kiev, Nauk. dumka, 1977, 188 p.
 2. Цеханов Ю. А. Механика формообразования заготовок при деформирующем протягивании / Ю. А. Цеханов, С. Е. Шейкин; М-во образования

Рос. Федерации. Воронеж гос. Техн. акад. – Воронеж, 2001. – 200 с.

Tsekhanov Yu. A., Sheykin S. E. *Mekhanika formoobrazovaniya zagotovok pri deformiruyushchem protyagivanii*. Voronezh, 2001, 200 p.

3. Проскуряков Ю. Г. Объемное дорнование отверстий / Ю. Г. Проскуряков, В. Н. Романов, А. Н. Исаев. – М.: Машиностроение, 1984. – 223 с.

Proskuryakov Yu. G. Romanov V. N., Isaev A. N. *Obemnoe dornovanie otverstiy*. Moscow, Mashinostroenie, 1984, 223 p.

4. Проскуряков Ю. Г. Дорнование отверстий / Ю. Г. Проскуряков. – М.; Свердловск: Mashgiz [Урало-сиб. отд-ние], 1961. – 192 с.

Proskuryakov Yu.G. *Dornovanie otverstiy*. Moscow, Sverdlovsk, Mashgiz [Uralo-sib. otd-nie], 1961, 192 p.

5. Розенберг А. М. Твердосплавные протяжки для обработки отверстий методом пластического деформирования / А. М. Розенберг, О. А. Розенберг, Д. А. Сирота; УкрНИКТИССМИ. – К., 1968. – 37 с.

Rozenberg A. M., Rozenberg O. A., Sirota D. A. *Tverdosplavnye protyazhki dlya obrabotki otverstiy metodom plasticheskogo deformirovaniya*. Kiev, 1968, 37 p.

6. Расчет и проектирование твердосплавных деформирующих протяжек и процесса протягивания / А. М. Розенберг, О. А. Розенберг, Э. К. Посвятенко и др.; АН УССР. ИСМ. – К.: Наук. думка, 1978. – 256 с.

Rozenberg A. M., Rozenberg O. A., Posvyatenko E. K. *Raschet i proektirovanie tverdosplavnykh deformiruyushchikh protyazhek i protsessa protyagivaniya*. Kiev, Nauk. dumka, 1978, 256 p.

7. Розенберг О. А. Механика взаимодействия инструмента с изделием при деформирующем протягивании / О. А. Розенберг; АН УССР. ИСМ. – К.: Наук. думка, 1981. – 288 с.

Rozenberg O. A. *Mekhanika vzaimodeystviya instrumenta s izdeliem pri deformiruyushchem protyagivaniy*. Kiev, Nauk. dumka, 1981, 288 p.

8. Немировский Я. Б. Исследование процесса деформирующего протягивания отверстий с целью оптимизации инструмента с групповым расположением рабочих элементов / Я. Б. Немировский; Ин-т сверхтвердых материалов АН УССР. – К., 1981. – 24 с.

Nemirovskiy Ya. B. *Issledovanie protsessa deformiruyushchego protyagivaniya otverstiy s tsel'yu optimizatsii instrumenta s gruppovym raspolozheniem rabochikh elementov*. Kiev, 1981, 24 p.

9. Палей М. А. Отклонения формы и расположения поверхностей / М. А. Палей. – М.: Изд-во стандартов, 1965. – 118 с.

Paley M. A. *Otkloneniya formy i raspolozheniya poverkhnostey*. Moscow, Izd-vo standartov, 1965, 118 p.

10. Рыжов Э. В. Технологическое управление качеством и эксплуатационными свойствами поверхностей / Э. В. Рыжов, О. А. Горленко; М-во выш. и сред. спец. образования РСФСР. Тульский политех. инст. – Тула, 1980. – 97 с.

Ryzhov E. V., Gorlenko O. A. *Tekhnologicheskoe upravlenie kachestvom i ekspluatatsionnymi svoystvami poverkhnostey*. Tula, 1980, 97 p.

11. Немировский Я. Б. Применение вариационных принципов для анализа энергетических и кинематических параметров процесса деформирующего протягивания / Я. Б. Немировский, Ю. А. Цеханов // Резание и инструмент в технологических системах: междунар. научн.-техн. сб. – Харьков: НТУ Украины «ХПИ», 2001. – Вып. 60. – С. 154-159.

Nemirovskiy Ya. B., Tsekhanov Yu. A. *Primenenie variatsionnykh printsipov dlya analiza energeticheskikh i kinematicheskikh parametrov protsessa deformiruyushchego protyagivaniya*. Rezanie i instrument v tekhnologicheskikh sistemakh. Khar'kov NTU Ukrainy "KhPI", 2001, issue 60, pp. 154-159.

12. Єрємін П. М. Підвищення ефективності обробки отворів у деталях із чавунів комбінованим протягуванням: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01 / Єрємін Павло Миколайович; КНТУ. – Кіровоград, 2015. – 20 с.

Yrromin P. M. *Pidvishchennya efektyvnosti obrobki otvoriv u detalyakh iz chavuniv kombinovanim protyaguvannya: avtoref. dis. kand. tekhn. nauk*. Kirovograd, 2015, 20 p.

13. Опора к протяжному станку: а. с. 606692 СССР : МКИ В 23 Д 41/02 / А. М. Розен-

берг, О. А. Розенберг, Э. И. Гриценко и др. – № 2426255/25-08; заявл. 03.12.76; опубл. 15.05.78. Бюл. № 8. – 3 с.

Rozenberg A. M., Rozenberg O. A., Gritsenko E. I. *Opora k protyazhnomu stanku*: a. s. 606692 SSSR : MKI V 23 D 41/02. No. 2426255/25-08; zayavl. 03.12.76; opubl. 15.05.78. Byul. No. 8, 3 p.

14. Опора для деформирующего протягивания: а.с. 761172 СССР: В23Д41/04 / О. А. Анпилов, Ю. Ф. Бусел, А. Д. Крицкий. – № 1836811/25-27; заявл.16.10.78; опубл.07.09.80. Бюл. № 33. – 5 с.

Anpilogov O. A., Busel Yu. F., Kritskiy A. D. *Opora dlya deformiruyushchego protyagivaniya*: a.s. 761172 SSSR: V23D41/04. No. 1836811/25-27; zayavl. 16.10.78; opubl.07.09.80. Byul. No. 33, 5 p.

Цель. Разработка научно обоснованных технологических методов управления параметрами точности деталей, обработанных деформирующим протягиванием.

Методика. Теоретическое и экспериментальное исследование механики процесса, которые позволили установить основные причины формирования погрешностей при деформирующем протягивании и определить пути управления параметрами точности.

Результаты. Созданы научные основы технологического управления параметрами точности деталей, обработанных деформирующим протягиванием, которые заключаются в определении особенностей деформирования разнотолщинных заготовок и деталей, обработанных с малыми натяжениями, а также в разработке научно-обоснованных схем, способов протягивания инструмента и технологических рекомендаций, обеспечивающих необходимую точность обработки.

Научная новизна. Созданы научные основы технологического управления параметрами точности при деформирующем протягивании, которые заключаются в разработке математических моделей и экспериментальных исследований механики процесса, что обеспечивает определение причин образования геометрических погрешностей в очаге деформации и разработку путей технологического управления параметрами точности.

Практическая значимость. Возможность разработки технологических процессов на основе деформирующего протягивания, а именно обработки отверстий разнотолщинных деталей, восстановление геометрической точности изношенных поршневых пальцев, обработка внутренней полости гильз ДВС из серого чугуна.

Ключевые слова: деформирующее протягивание, точность, очаг деформации, участок контакта, неконтактных зоны, деформирования, разнотолщинность, геометрическая погрешность.

Purpose. Development of scientifically grounded technological methods of controlling the accuracy of parts processed by deforming stretching.

Methodology. Theoretical and experimental study of process mechanics, which allowed to identify the main

causes of error formation during deformation, and to determine the ways of controlling the accuracy parameters.

Findings. The scientific bases of technological control of the parameters of precision of parts processed by deforming stretching are created, which consist in the determination of the features of deformation of multi-tiered billets and parts processed with small tensions, as well as in the development of scientifically grounded schemes, methods of gripping the tool and technological recommendations that provide the required precision of machining.

Originality. The scientific basis of technological control of accuracy parameters in deforming stretching is created, which consists in the development of mathematical models and experimental studies of process mechanics, which provides determination of the causes of the formation of geometric errors in the deformation cell and the

development of ways of technological control of accuracy parameters.

Practical value. Possibility of working out of technological processes on the basis of deforming dragging, namely processing of openings of various-thickness parts, restoration of geometric accuracy of worn piston fingers, processing of internal cavity of casings of internal combustion engines from gray cast iron.

Key words: deforming broaching, accuracy, deformation center, contact area, non-contact zones, deformation, different thickness, geometric error.

Рекомендована к публикации
д. т. н. Э. К. Посвятенко

Поступила 25.12.2017



УДК 621.891+539.375.6

Наука

Ю. А. Малиновский /к. т. н./,
Г. В. Данилина /к. т. н./, С. Ю. Даценко /к. т. н./
А. А. Бондарец

Криворожский колледж НАУ, г. Кривой Рог,
Украина
Криворожский национальный университет,
г. Кривой Рог, Украина

Квазистатические особенности постановки деформационно волновых задач при трении и изнашивании

Yu. A. Malinovsky /Cand. Sci. (Tech.),
G. V. Danilina /Cand. Sci. (Tech.),
S. Yu. Datsenko /Cand. Sci. (Tech.)/
A. A. Bondarets

Krivoy Rog College of NAU, Krivoy Rog, Ukraine

Krivoy Rog National University, Krivoy Rog,
Ukraine

Quasistatic features of the formation of deformation wave problems with friction and wear

Цель. Разработка инженерных методов расчета движущихся контактирующих деталей на трение и износ с учетом квазистатического протекания деформационно-волновых процессов в зоне перед движущейся деталью.

Методика. С целью объяснения эффектов волнообразования на контактирующих поверхностях предложена расчетная модель, в которой наружный слой взаимодействующих полупространств схематизирован в виде двух движущихся балок на упругом основании, которые в подвижной системе координат обладают конечной длиной и имеют шарнирно-неподвижные опирания в массивах взаимодействующих деталей. Получены дифференциальные уравнения упругих линий «гипотетических» балок. Разработаны практические приемы для определения количества полуволн и высоты микронеровностей, появляющихся после потери продольной устойчивости «гипотетических» балок при взаимодействии контактирующих деталей.

Результаты. Предложены способы определения касательных усилий в растянутой и сжатой частях «гипотетической» балки. Представлены результаты по определению степени волнистости деформаци-