

УДК 621.77

М.Пилипець, канд.техн.наук; І.Шевчук

Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя

ВИГОТОВЛЕННЯ ЗАГОТОВОК ЗУБЧАСТИХ КОЛІС В ОДИНИЧНОМУ І ДРІБНОСЕРІЙНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Розглянуто проблему виготовлення заготовок зубчастих коліс в одиничному і дрібносерійному виробництві. Запропоновано новий спосіб отримання заготовок зубчастих коліс. Подано загальні рекомендації щодо визначення геометричних параметрів заготовки, підбору матеріалу і термообробки.

Умовні позначення

T – сума питомих текучих витрат, грн/шт;
 E – сума одноразових витрат, зв'язаних з формоутворенням заготовок і їх обробкою, грн;
 K – запланована кількість деталей у партії, шт.;
 d, D – внутрішній і зовнішній діаметри заготовки зубчастого колеса;
 r, R – внутрішній і зовнішній радіуси заготовки зубчастого колеса;
 B – ширина стрічки;
 l – довжина вихідної стрічки;
 b – товщина стрічки;
 H – ширина заготовки зубчастого колеса;
 R_0 – радіус нейтрального шару деформації;
 n – кількість витків стрічки в одержаному зубчастому колесі;
 β_y – коефіцієнт усадки матеріалу стрічки;
 k_m – коефіцієнт, що враховує конструктивне виконання оправи;
 P – поперечна згинна сила;
 l – плече прикладання сили;
 μ_p – коефіцієнт тертя у місці прикладання поперечної сили;
 γ_p – кут між складовою сили різання і силою згину;
 β_σ – коефіцієнт, який залежить від співвідношення головних напружень;
 $\sigma_{r.o}$ – екстрапольована межа плинності;
 Π – лінійний модуль зміцнення;
 γ_r – кут між складовою силою різання і силою згину;
 μ_0 – коефіцієнт тертя у зоні контакту “стрічка до оправи”.

Основними показниками розвитку одиничного і дрібносерійного машинобудівного виробництва є удосконалення технології виготовлення заготовок виробів, зменшення трудомісткості їх виготовлення і забезпечення відповідної якості при мінімальних затратах матеріалів і виробничих потужностей. Собівартість виробу формується багатьма факторами, головним з яких є вартість матеріалу і спосіб одержання заготовки, що в середньому становить до 40% від вартості готової деталі. Тому при конструюванні виробу і проектуванні технологічного процесу його виготовлення у сучасних ринкових відносинах питання зниження собівартості надзвичайно актуальне, особливо для підприємств з дрібносерійним, одиничним та індивідуальним типом виробництва, дрібних ремонтних організацій, приватних майстерень та ін. Для цих підприємств є характерною універсальність використовуваного заготівельного обладнання і технологічного оснащення, що, безумовно, зменшує технічні можливості виробництва заготовок. Але впровадження високопродуктивних способів одержання точних заготовок, які за розмірами і конфігурації наближаються до готових деталей, обов'язково призводить до суттєвого збільшення вартості заготовок і економічно виправдане тільки тоді, коли вартість заготівельного обладнання і затрат на виготовлення технологічного оснащення розподіляється на достатньо велику кількість виготовлених заготовок.

Виготовлення зубчастих коліс в одиничному виробництві є досить серйозною проблемою, оскільки, хоч вони і є одними з найпоширеніших деталей, в одній машині можуть використовуватися десятки зубчастих коліс, що відрізняються між собою діаметрами, шириною, модулем, розміром посадочного отвору й іншими конструктивними параметрами. З економічної точки зору необхідно, щоб для кожного типорозміру зубчастого колеса була виготовлена окрема заготовка, максимально наближена за формою до готової деталі. Однак дана умова може бути виконана тільки в масовому виробництві, де завдяки використанню в заготівельних операціях методів формоутворення, що зменшують припуски на механічну обробку до 15-20% від маси заготовок, трудомісткість виготовлення зубчастих коліс у середньому зменшується удвічі порівняно з трудомісткістю у дрібносерійному виробництві [1].

Використання високопродуктивних процесів одержання точних заготовок (прецизійне лиття, штампування та ін.), що вимагають для їх впровадження додаткових капіталовкладень і значних одноразових витрат, в умовах дрібносерійного виробництва може виявитись нерентабельним. До одноразових належать витрати на виготовлення, утримання й експлуатацію спеціального обладнання, пристроїв, різального і вимірного інструменту, моделей, коклів, штампів, прес-форм у кількостях, необхідних для виготовлення запланованої партії деталей. Тому для дрібносерійного виробництва характерним є використання як заготовок гарячокатаного прокату, а в деяких випадках – застосування великогабаритних відливок. Але такий спрощений підхід до заготівельного виробництва обов'язково призводить до збільшення припусків на механічну обробку. Маса матеріалу, що зрізується лезовими інструментами, становить іноді до 40-50% від маси заготовки, при цьому суттєво збільшуються затрати на виготовлення, що впливає на собівартість коліс.

Крім цього, на ремонтних підприємствах потребу в зубчастих колесах не завжди може повністю задовольнити за рахунок купованих деталей. У даний час практично кожне машинобудівне підприємство відшкодовує свої потреби в запасних частинах, причому приблизно 70% від загальної кількості виготовляється в ЦРБ за недосконалою технологією, що є однією з причин високої вартості ремонтно-відновлювальних робіт. Трудомісткість виготовлення зубчастих коліс навіть на спеціалізованих ремонтних підприємствах значно вища, ніж на верстатобудівних. Так, за даними [2], вартість виготовлення зубчастих коліс на верстатобудівних заводах приблизно утричі нижча, ніж на верстаторемонтних заводах, і у 3,6 рази нижча, ніж у цехових ремонтних майстернях при одиничній формі організації виробництва.

Причиною високої вартості зубчастих коліс, що виготовляються як на спеціалізованих ремонтних підприємствах, так і в ремонтних майстернях машинобудівних заводів, є широка номенклатура зубчастих коліс і вузька верстатного обладнання, а відповідно, і слабка оснащеність технологічних процесів, тобто в цих

умовах не досягається високого рівня концентрації виробництва. Наявні технологічні процеси виготовлення зубчастих коліс у ремонтних цехах машинобудівних підприємств недосконалі. Завищені припуски на обробку призводять до великої перевитрати металу і значно підвищують затрати на виготовлення.

Якщо на верстатобудівних підприємствах коефіцієнт використання металу при виготовленні зубчастих коліс, за даними НДІ Праці, знаходиться в межах 0,5...0,7, то в ремонтних цехах машинобудівних заводів він становить 0,15...0,2 [2]. У результаті для ремонтних цехів характерні висока собівартість і низька якість, а відповідно, висока вартість повного комплексу робіт для виготовлення зубчастих коліс.

Очевидно, що існує безпосередній зв'язок між вартістю виготовлення зубчастих коліс і типом виробництва. Якщо прийняти за одиницю вартість виготовлення зубчастих коліс у масовому виробництві, то в дрібносерійному і ремонтному виробництвах ця вартість згідно з поданими вище даними, дорівнюватиме 3,6 одиниці. Тип виробництва характеризуватимемо річною програмою випуску. Тоді згідно з сучасними даними, потрібний зв'язок можна характеризувати залежністю, поданою на рис.1. При розгляді цієї залежності впливає, що відносне зниження собівартості є більш значним при переході від дрібносерійного виробництва до серійного, ніж від серійного до великосерійного і від великосерійного до масового.

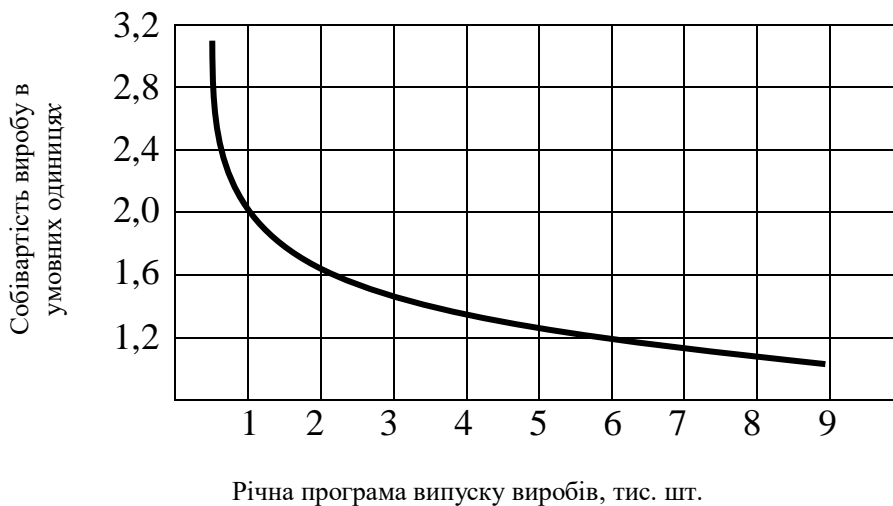


Рис.1. Залежність собівартості виробу від серійності випуску.

Загалом собівартість виготовлення зубчастого колеса визначається із співвідношення:

$$C = T + \frac{E}{K} \tag{1}$$

У випадку зміни величини K в арифметичній прогресії величина C змінюватиметься експоненціально, і при зменшенні серійності виробництва значно зростатиме вплив одноразових витрат E на собівартість виготовлення зубчастого колеса. З іншого боку, згідно з технологічними умовами виробництва при зменшенні величини E або зведенні її до нуля обов'язково зросте величина T , і собівартість залишиться значною. Для запобігання цьому потрібно мінімізувати величини E і T , чого можна досягнути підвищенням точності процесів формоутворення за рахунок впровадження нових прогресивних способів одержання заготовок для зубчастих коліс, що є одним з основних напрямків удосконалення технічного рівня сучасного одиничного та дрібносерійного виробництва.

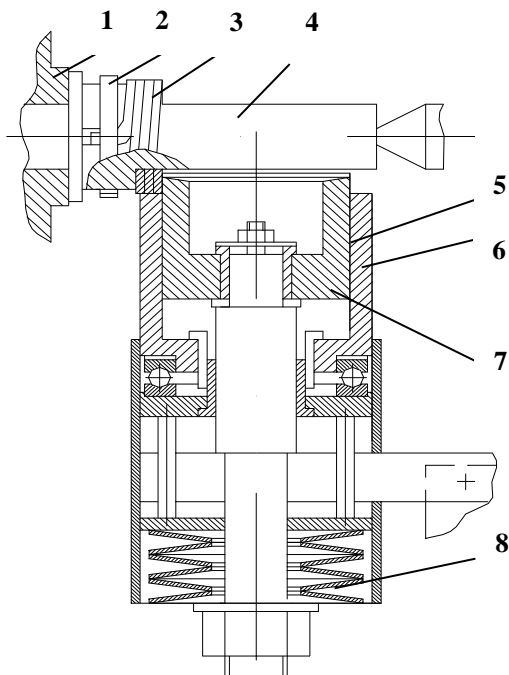


Рис.2. Пристрій для утворення заготовок циліндричних зубчастих коліс.

заготовки приблизно 1-2,5 мм. При цьому підтиснута кільцева частина 6 відходить від оправки 1 на ширину стрічки. Вільний кінець стрічки згинають на поверхні ролика 7 і вставляють у щілину, утворену цією частиною ролика і напрямним роликком. Після вмикання обертання приводу (патрон верстата), у результаті якого стрічка під дією робочої торцевої поверхні зовнішньої кільцевої частини 6 формотвірного ролика 5, підтиснутої пружини 8 із зусиллям, достатнім для згину, навивається на менший ступінь 4 оправки 1. Після закінчення навивання стрічку знімають з оправки і механічно обробляють як заготовку вінця циліндричного зубчастого колеса.

Один із можливих варіантів конструкції зубчастого колеса із витої заготовки подано на рис.3 [5].

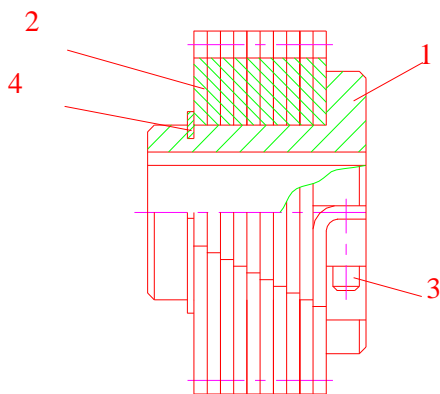


Рис.3. Зубчасте колесо.

Зубчасте колесо складається із ступиці 1 і зубчастого вінця 2, виготовленого із стрічкового матеріалу шляхом навивання на ребро на оправку. Одним кінцем зубчастий вінець твердо кріпиться до ступиці за допомогою гвинтового 3 або іншого виду з'єднання, а інший кінець кінематично за'язаний зі ступицею з можливістю зворотньо-поступального переміщення. Кільце 4 забезпечує фіксування зубчастого вінця з витої заготовки на ступиці у вісьовому напрямку.

Перевагою способу одержання заготовки вінця зубчастого колеса шляхом навивання стрічки на ребро на оправку є можливість

варіювати основні розміри заготовки залежно від потрібного типорозміру зубчастого колеса. Адже внутрішній отвір заготовки залежатиме від діаметра оправки d , на якій відбувається навивання, а зовнішній діаметр D пов'язаний лише із шириною стрічки B співвідношенням:

$$D = d + 2 \cdot B \cdot \beta_y, \quad (2)$$

Коефіцієнт усадки матеріалу стрічки вважатимемо таким, що дорівнюватиме 0,93...0,98, причому при зростанні ширини стрічки коефіцієнт усадки зростає.

Встановлено [4], що при навиванні усадка стрічки залежить від пластичності матеріалу, рівня деформації, співвідношення товщини до ширини стрічки, конструктивних параметрів пристроїв, особливо формотвірного ролика 5.

Навивання виконується на універсальному обладнанні за допомогою типового оснащення, що можна використати для будь-якої ширини стрічки. Потрібна ширина отримується шляхом розрізування стандартних поставочних партій за допомогою наявного обладнання для різання стрічки, при цьому довжина l_c стрічки визначатиметься із залежності:

$$l_c = 2 \cdot \pi \cdot R_o \cdot n, \quad (3)$$

де R_o - радіус нейтрального шару деформації:

$$R_o = \frac{1}{2}(d + \beta_y B), \quad (4)$$

Кількість витків заготовки зубчастого колеса визначатиметься із залежності:

$$n = \frac{H}{b}. \quad (5)$$

Тоді

$$l_c = 2 \cdot \pi \cdot (d + \beta_y B) \cdot \frac{H}{2b} = \frac{\pi \cdot H}{b} \cdot (d + \beta_y B). \quad (6)$$

На практиці розрахункова довжина вихідної заготовки має бути більшою з урахуванням кінцевих відходів, які одержуються при закріпленні стрічки в оправці і внаслідок нестационарного режиму її деформації. Розрахункову довжину уточнюють на основі конкретних умов навивання і пробної партії.

Момент, необхідний для навивання стрічки на оправу, залежить від конструктивних особливостей оправ і загалом визначається із залежності:

$$M_n = k_m P [l + (\mu_p + tg \gamma_p) R] \quad (7)$$

Згинна сила при одержанні заготовок зубчастих коліс методом навивання буде дорівнюватиме:

$$P = \frac{(\beta_o B / 3) [(\sigma_{T.o} + \Pi \ln \sqrt{R/r})^4 \sqrt{r/R} (R^2 + 2r\sqrt{Rr} - 3Rr)]}{[l + (\mu_p + tg \gamma_p) \cdot (R - \sqrt{Rr}) + \mu_o (r - \sqrt{Rr})]} \quad (8)$$

Матеріал для виготовлення зубчастих коліс вибирають з таким розрахунком, щоб була можливість нарізування зубів із необхідною точністю, забезпечення достатньої міцності поверхневого шару зубів і високого опору руйнуванню. Поряд з цим для запропонованого способу утворення заготовок зубчастих коліс ставиться ряд інших вимог до матеріалу, у т. ч. висока в'язкість, пластичність і відносне видовження, якісна зовнішня поверхня, мінімальні залишкові напруження.

На практиці це досягається за рахунок підбору матеріалу і термообробки залежно від навантаження зубчастої передачі.

Одержання якісно навитої заготовки можна забезпечити використанням сталей, в яких коефіцієнт відносного видовження δ коливається в межах 30-40%. Із зменшенням δ зростають пружні властивості матеріалу, стрічка погано навивається, на її поверхні можуть утворюватися тріщини і сколи, внаслідок чого важко отримати якісну заготовку. Крім цього, значно зростуть згинна сила і момент, що забезпечують навивання стрічки, внаслідок чого можливі ломання і вихід з ладу пристроїв для навивання стрічки на оправку.

Забезпечення відповідної твердості робочих поверхонь зубів досягається за рахунок правильно підбраної термообробки: суцільного чи поверхневого гартування, цементування, ціанування, азотування й інших, які дають різні значення твердості і

залежать від умов роботи зубчастого колеса. При цьому до вибору термообробки конкретного зубчастого колеса потрібно підходити індивідуально, враховуючи матеріал заготовки, параметри твердості, значення міцності за контактними напруженнями і напруженнями згину, яких потрібно досягти за допомогою вибраного способу термообробки, і обґрунтувати цей вибір показниками економічної доцільності.

Безумовно, зубчасті колеса з витих заготовок, створені шляхом навивання стрічки на оправку, матимуть трохи інші робочі характеристики, ніж звичайні зубчасті колеса. Є підстави вважати, що використання зубчастих коліс з витих заготовок, особливо як паразитних коліс, поліпшить деякі характеристики зубчастих передач, зокрема, збільшить величину плями контакту, зменшить розмір бічної щілини, зменшить ударні навантаження і знизить шум працюючого зубчастого зачеплення і механізму в цілому.

Поряд з цим використання запропонованого способу одержання заготовки зубчастого колеса в одиничному і дрібносерійному виробництвах здебільшого може суттєво збільшити економію матеріальних ресурсів, знизити собівартість виготовлення і забезпечити широке використання зубчастих коліс з витих заготовок у народному господарстві.

In work there are considered problems of manufacture of the storages cog-wheels in single and small serial production. The new mode of make of the storages cog-wheels was offer. The general recommendation for definition of geometrik parameters of the storage, selection of material and thermal treatment was given.

Література

1. Рындин Г.А. и др. Некоторые вопросы оптимизации уровня технологичности конструкций заготовок деталей // Проблемы технологичности конструкций изделий машиностроения. Материалы Всесоюзной научно-технической конференции/ Под.ред. Ю.Д.Амирова. - М.: Издательство стандартов, 1976. - С.92-99.
2. Ильянченко М.В. Организация ремонта машиностроительного оборудования.- К.: Техніка, 1979.- 160 с.
3. Гевко Б.М. Технология изготовления спиралей шнеков. – Львов: Вища школа, 1986. –128 с.
4. Способ изготовления спиралей шнеков и устройство для его осуществления. А.С.№1611505, МКИ₃ В21 D11/06, О.Н.Шаблій, Б.М.Гевко, Р.М.Рогатынский, М.И.Пилипец, Р.Б.Гевко, Д.Л.Радык, М.П.Копак (СССР) - №4633357/31-27; Заявлено 10.11.88; Оpubл.07.12.90 : Бюл.№45.

Одержано 20.03.01 р.