

Довършващо обработване на ротационни профилни повърхнини чрез повърхностно пластично деформиране (ППД) на стругове с ЦПУ

Проф. д-р инж. В. И. Георгиев – ТУ-София, филиал Пловдив; д-р инж. С. Ч. Салапатева – Аграрен университет, Пловдив; д-р инж. И. А. Четроков – Университет „Проф. А. Златаров” – Бургас

Резюме. В доклада се анализират специфични особености при осъществяване на довършващо обработване чрез ППД на една операция с предварителното обработване чрез струговане на стругове с ЦПУ. Интегрирането на двата процеса в една операция дава възможност да се постигне висока точност, както на микрогеометрията, така и на размерите и макрогеометричната форма на обработената повърхнина. Причина за това са високата точност на съвременните машини с ЦПУ и осигуряването по програмен път на оптимален режим за ППД.

Ключови думи: машиностроене, довършващо обработване, ППД

Въведение. Довършващото обработване чрез ППД има редица предимства спрямо други процеси за механично обработване, които осигуряват същата точност на макрогеометричната форма на обработената повърхнина [1,4]. Измежду тях най-съществени са високата ефективност на обработването и чувствителното повишаване на границата на умора на обработените детайли при циклични знакопроменливи натоварвания.

Ефективността на процеса се заключава в това, че с висока производителност се постига съществено подобряване на грапавостта на повърхнината. При изходна височина на грапавините $R_z = 5 \div 10 \mu\text{m}$, с еднопроходно ротационно ППД може да се постигне $R_a = 0,32 \div 0,16 \mu\text{m}$.

Повишаването на границата на умора се дължи на наклепването на повърхностния слой от материала и формирането на остатъчни напрежения на натиск в обработената повърхнина.

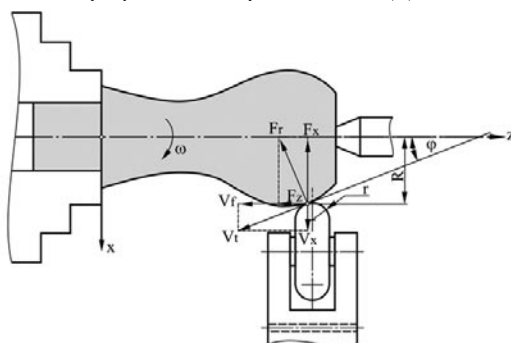
Като недостатък на обработването с ППД се отбелязва ограничената възможност за подобряване точността на размерите и макрогеометричната форма на обработваната повърхнина. Това се обяснява със спецификата на процеса. Като метод за повърхностно пластично деформиране, обработването протича само в границите на микронеравностите. Поради сравнително малката височина на грапавините, възможностите за компенсиране на грешките на размерите и формата са малки. Освен това, редица схеми на ППД се осъществяват, като силата за деформиране, прилагана от инструмента на детайла, се задава чрез еластичен елемент. По този начин се осигурява сравнително постоянна деформираща сила, но се копират грешките на заготовката. Тези особености на метода налагат, при високи изисквания към точността на размерите и формата на повърхнината, да се включат в технологичния процес допълнителни операции, с които да се постигне зададената точност. С това ефективността на обработването с ППД чувствително намалява.

С инвазията на металорежещите машини (ММ) с ЦПУ в съвременното машиностроене се разкриват нови възможности за приложение на обработването с ППД. На тези машини предварителното за ППД обработване на повърхнината може да се извърши с висока точност на размерите и формата. Ако в инструменталния комплект на машината се включи и инструмент за ППД, то може да се извърши на същата операция, при което ще се постигне и желаната микрогеометрия на повърхнината. По такъв начин, с интегрирането на двата процеса, се постига желаната точност на размерите, формата и микрогеометрията на повърхнината на една операция.

Особености при обработването на ротационни профилни повърхнини с ППД.

В машиностроенето немалка група детайли съдържат ротационни профилни повърхнини. Такива са разнообразни шарнири, гърбици, елементи на сферични съединения, ръкохватки и др. При тези повърхнини възникват затруднения да се поддържат постоянни деформиращата сила и скоростите на главното и подавателното движения.

Пример за обработване на ротационна профилна повърхнина с ППД е показан на фиг.1.



Фиг.1. Схема на обработване на ротационна профилна повърхнина с ППД

Деформиращият елемент е тороидна ролка, лагерувана в еластичен държач. Обхождането на профилната повърхнина може да се осъществи посредством механично копиране (при използване на универсален струг) или с хидрокопирно устройство. При определена деформация на еластичния елемент, по време на обхождането ще се поддържа постоянна сила в напречно на оста на детайла направление, $F_x = const$. Постоянни са още скоростта на подавателното движение V_f и ъгловата скорост ω . При тези условия на работа непрекъснато се променят точката на контакт между инструмента и детайла, деформиращата сила, скоростта на движение на инструмента по обработвания контур и периферната скорост:

деформиращата сила F_r ще бъде:

$$F_r = F_x / \cos \varphi ; \tag{1}$$

скоростта на движение на инструмента по обработвания контур е:

$$V_t = V_f / \cos \varphi ; \tag{2}$$

периферната скорост е:

$$V_c = \omega R , \tag{3}$$

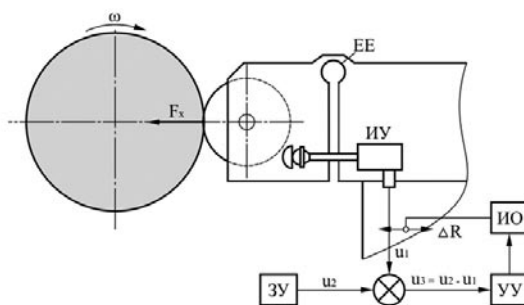
където φ е ъгълът, който сключва тангентата в точката на контакт с оста x ;

R – радиусът на обработваната повърхнина в точката на контакт.

Следователно, основните параметри на режима на ППД, които определят качеството на обработената повърхнина се променят по време на обхождането на контура. Това е предпоставка за неравномерна грапавост на обработената повърхнина.

За да се осигури постоянна микрогеометрия на повърхнината е необходимо да се поддържат постоянни посочените параметри на режима. Като компромис, може да се пренебрегне колебанието на периферната скорост. Известно е [4] сравнително слабото и влияние върху ефекта от ППД.

Възможно е решението на проблема да се постигне с адаптивно управление на процеса. Тази възможност е изследвана с адаптивна система за ППД, инсталирана към универсален струг [3]. Принципната и схема е показана на фиг.2.



Фиг.2. Адаптивна система за ППД

Държачът на инструмента има еластично звено ЕЕ. С неговата деформация се задава и регулира силата F_x . Измерването на деформацията, респективно на силата, става с измервателното устройство ИУ, което в случая е индуктивен преобразувател за измерване на линейни премествания. Неговият сигнал u_1 се подава в сравняващото устройство СУ, където постъпва и сигнал u_2 от задаващото устройство ЗУ. При разсъгласуване на двата сигнала устройството за управление УУ задейства изпълнителния орган ИО, който премества радиално инструмента до възстановяване равенството на сигналите u_1 и u_2 . При зададена сила за деформиране $F_r = const$, адаптивната система поддържа големина на силата F_x променяща се по програмата:

$$F_x = F_r \cos \varphi . \quad (4)$$

Програмата (4) е заложена в задаващото устройство на системата, като ъгълът φ се описва като функция на времето на работа.

За осигуряване на постоянно подавателно движение по контура $V_t = const$, се предлага снабдяване на адаптивната система с втори контур за автоматично управление, който да регулира скоростта на подавателното движение по закона:

$$V_f = V_t \cos \varphi . \quad (5)$$

Реализирането на описаната адаптивна система към универсален струг изисква съществени капиталовложения и е оправдано при голяма серийност на производството. Съвременните ММ с ЦПУ предлагат значително по-ефективни възможности за управление на елементите на режима за ППД.

Обработване на ротационни профилни повърхнини с ППД на стругове с ЦПУ

При машините с ЦПУ са на лице необходимите предпоставки за осигуряване оптимални режими за ППД. Системата за ЦПУ дава възможност за поддържане постоянни силата за деформиране, подаването и периферната скорост при обхождане по образуващата на профилната повърхнина.

Големината на деформиращата сила зависи от стегнатостта между инструмента и заготовката:

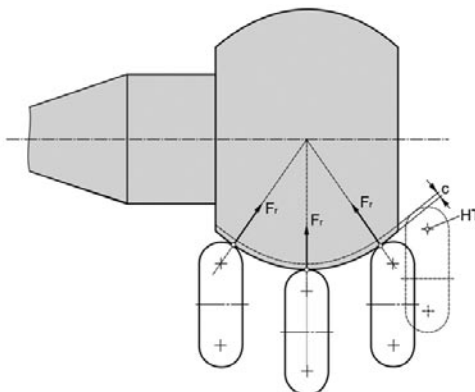
$$F_r = jc \quad (6)$$

където c е стегнатостта;

j – коравината (стабилността) на технологичната система.

В случая не е необходимо да се използва инструмент с еластично звено, за да се компенсира разсейването на размерите на заготовката. Като се има предвид, че предварителното и довършващото обработване се извършват на една операция и при едно установяване на заготовката, не може да се очаква значимо разсейване на стегнатостта. Освен това, при наличие на еластичен елемент в инструмента се променя коравината на системата. Тя намалява чувствително по направлението на деформиране на еластичния елемент.

На фиг. 3 е показана промяната на направлението на деформиращата сила F_r при обхождане на сферичен контур със зададена стегнатост c . Ако еластичният елемент е разположен радиално на оста на ролката, както на фиг.2, най-малка ще е коравината на системата, когато ролката е в средата на сферичния контур и най-голяма – в началото и края на контура. В този случай, независимо, че стегнатостта е постоянна, деформиращата сила ще е променлива при обхождането на контура, а следователно и грапавостта на обработената повърхнина.



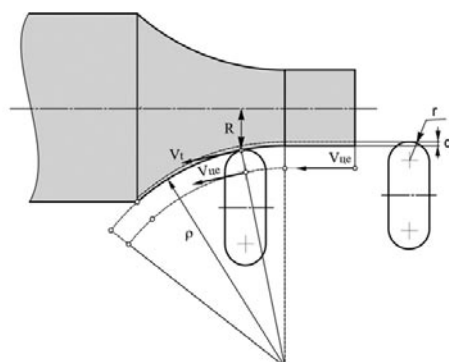
Фиг.3. Задаване на стегнатостта при ППД

Ако инструментът е без еластичен елемент, промяната на коравината на системата при промяна на направлението на деформиращата сила ще е значително по-малко. В този случай условието за постоянна деформи-

раща сила $F_f = const$ е съпоставимо с условието $c = const$. Стегнатостта се задава програмно с избора на координатите на началната точка НТ за обхождане на контура (фиг.3). За поддържане на $c = const$ е необходимо да се извършва движение на инструмента по еквилидистанта на образуващата линия на обработваната повърхнина. Това се осигурява, чрез въвеждане на радиусна компенсация. Чрез командите G41 или G42 се извършва съответната радиусна компенсация от ляво или от дясно на обработвания контур. Изборът на компенсирането е в зависимост от посоката на движение и вида на обработваната повърхнина, вътрешна или външна. Радиусът r на инструмента за ППД се задава аналогично на радиуса на режещия инструмент, както при струговане на ММ с ЦПУ.

Инструментът без еластичен елемент се отнася към т.н. инструменти с твърдо действие. Тяхно съществено предимство спрямо инструментите с еластично действие е, че процесът ППД придобива характер на размерен процес. С него може да се постигне подобряване на точността на размерите и на макрогеометричната форма на обработваната повърхнина. Ефектът на подобряването на точността зависи от диаметъра на обработваната повърхнина. Той намалява с увеличаването на диаметъра. По тази причина процесът ППД с инструменти с твърдо действие се определя, като условно размерен.

Следващият по значимост параметър на режима за ППД на профилни повърхнини е скоростта на подавателното движение V_t .



Фиг.4. Скорост на обхождане

На фиг. 4 е показан детайл със съчетание на цилиндрична и профилна повърхнина. Необходимо е да се осигури $V_t = const$. На практика системата за ЦПУ осигурява постоянство на скоростта по траекторията описвана от центъра на закръгленето на инструмента, т.е. скоростта на движение по еквилидистанта $V_{це}$. За различните участъци от контура двете скорости може да са еднакви и да се различават. При цилиндричната повърхнина $V_t = V_{це}$. В криволинейния участък, с радиус ρ на обработваната повърхнина, двете скорости са различни [2]:

$$V_{це} = V_t \frac{\rho \pm r}{\rho} \quad (7)$$

В зависимостта (7) знакът „+“, съответства на изпъкнал участък от контура, а знакът „-“, на вдлъбнат.

Системата за ЦПУ извършва необходимите преизчисления и осигурява постоянна скорост на подавателното движение $V_t = const$.

Третият елемент на режима е периферната скорост на детайла V_c . Както вече бе споменато, тази скорост не влияе съществено на получаваната грапавост при ППД. Въпреки това, като предпоставка за еднакви условия за осъществяване на процеса на различните участъци от профилната повърхнина, целесъобразно е тази скорост да е постоянна. От нея се влияе значително температурата в зоната на обработването, както и трайността на инструмента. Следователно, тя може да повлияе на характера на остатъчните напрежения. Известно е [4], че при преобладаващо влияние на топлинните фактори над силовите, остатъчните напрежения в обработената повърхнина ще бъдат отрицателни (на опън), което се отразява отрицателно на границата на умора на детайла.

Осигуряването на $V_{\tilde{n}} = const$ е по възможностите на системата за ЦПУ. Програмно може да се зададе такъв режим на работа. С промяна на ъгловата скорост ω , съгласно формула (3), се поддържа постоянна периферна скорост. За всеки участък от траекторията е известен радиусът на детайла от програмата за ЦПУ. Изчислителния процес се осъществява от системата за ЦПУ.

Заклучение

1. В резултат на направеното изследване могат да се направят следните изводи:
2. Обработването на ротационни профилни повърхнини на стругове с ЦПУ дава възможност да се осъществява

- ви процесът с оптимален режим, като се поддържа постоянна деформираща сила, постоянна скорост на подавателното движение по контура на обработваната повърхнина и постоянна периферна скорост.
3. Целесъобразно е инструментът за ППД да бъде без еластичен елемент. Това е предпоставка за малко разсейване на деформиращата сила и еднаква грапавост на обработената повърхнина. Допълнително се постига предимството, че процесът ППД придобива характер на размерен процес т.е., подобрява точността на размерите и на макрогеометричната форма на обработваната повърхнина.
 4. Поддържането на постоянна периферна скорост V_c при обработването дава възможност тя да се подбере по такъв начин, че да се осигурят остатъчни напрежения на натиск в обработената повърхнина и да се намали интензивността на износване на инструмента.
 5. Въвеждането на ППД в операциите струговане на ММ с ЦПУ разкрива възможности за интегриране на този процес с предварително обстъргване (разстъргване) с адаптивно управление. Опитът на авторския екип в областта на адаптивното управление при ММ с ЦПУ дава увереност, че ще се постигне значително повишаване на ефективността на операцията от съчетаването на двата процеса.

Литература

1. Азаревич, Г. М., Г. Ш. Бернштейн. Чистовая обработка наружных цилиндрических поверхностей пластическим деформированием. М., ОНТИ НИИТракторсельхозмаша, 1963.
2. Каштальян И. А., В. И. Клевзович. Обработка на станках с числовым программным управлением. Минск, „Вышэйшая школа”, 1989г
3. Патарински, П. Д., В. И. Георгиев. Обработване чрез повърхностно пластично деформиране с адаптивно управление. Сп. Машиностроене, 1975, кн.9, стр.393-395.
4. Под ред. на Сучков, А. Г. Довършващо обработване чрез повърхностно пластично деформиране. София, Техника, 1984.

Авторите изказват своята благодарност за възможността да осъществят представените изследвания, като резултат на изследователски проект финансиран от НФНИ при МОН (проект ВУ-ТН-208/06 „Създаване на методология за управление и диагностика на реконфигуриращи се производствени системи”).