

УДК 621.9

І.Луців, канд.техн.наук; І.Брошак

Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя

ПРОЕКТУВАННЯ СВЕРДЛ АДАПТИВНОГО ТИПУ ДЛЯ ОБРОБЛЕННЯ ГЛИБОКИХ ОТВОРІВ З ДОПОМОГОЮ ПЕОМ

Подано особливості проектування свердл адаптивного типу з міжелезовим гідравлічним зв'язком і результати автоматизованих розрахунків механічних напружень та деформацій і температурного стану свердла у середовищі програмного продукту COSMOS\Works5.

Умовні позначення

P_o – вісьова сила, Н;
 $M_{кр}$ – крутний момент, Н м;

S	– подача, мм/об;
C_o	– величина зношування леза, мм;
$T_{заг}$	– термін служби інструменту, хв.

Відомо багато факторів, що призводять до викривлення вісі отвору. Це, насамперед, коливання твердості оброблюваного матеріалу, похибки виготовлення та закріплення інструменту, недостатня жорсткість системи ВПД, нерівномірність притуплення лез свердла та інші. У реальних технологічних процесах ці фактори наявні завжди, але особливо слід враховувати їх вплив на процес уведення інструменту при свердлінні глибоких отворів ($l/d > 5$) та обробці важкооброблюваних корозійностійких і жароміцних сталей та сплавів.

Одним із методів зменшення непрямої лінійності отвору в процесі його свердління є вирівнювання вісьових сил на обох різальних ребрах (лезах) свердла шляхом їх рівномірного розподілу, тобто застосування інструменту адаптивного типу [1]. Наявність адаптивного свердла дозволить використовувати звичайні верстати свердлильної та токарної груп при свердлінні глибоких отворів значної довжини.

До специфічних вимог до такого інструменту належать більші обмеження щодо міцності та жорсткості. Особливості його функціонування також полягають у наявності сил тертя між рухомими елементами реальної конструкції, що, безумовно, формують зони нечутливості свердла до різниці вісьових сил на обох лезах. Такі особливості процесу обробки, необхідність використання лез із порошкових матеріалів, що забезпечують вищі швидкості різання і дозволяють поліпшити продуктивність різання, слід враховувати при проектуванні свердл адаптивного типу.

До загальної картини проектування має належати вибір з існуючих технологічних схем глибокого свердління, найбільш доцільних для реалізації процесу обробки адаптивним свердлом; використання таких конструктивних виконань свердл для глибокого свердління, особливості яких можна взяти за основу при проектуванні принципово нового інструменту; аналіз характеру та розмірів навантажень (силових, температурних, вібраційних) для пропонованих режимів обробки; власне конструювання адаптивного свердла; дослідження працездатності дослідного зразка на основі теоретичних і практичних оцінок.

Аналіз відомих інструментів, що використовуються для виконання коротких та довгих отворів підвищеної точності діаметра та розташування геометричної вісі, показує, що найдоцільнішим для адаптивного виконання є дво- та трирізцеві ежекторні свердла з припаяними твердосплавними та змінними багатограними пластинами, що функціонують за методом поділу ширини зрізу. При цьому ширина різців теж приблизно однакова і дорівнює половині діаметру отвору, але ширину периферійного різця вибирають такою, щоб калібрувальна фаска різця, розташованого у центрі, перекривалася на 1...2 мм. Під час роботи товщина зрізуваних шарів матеріалу буде неоднаковою внаслідок осциляції різальних лез. Трирізцеві ежекторні свердла, що працюють за методом поділу ширини зрізу, можна пропонувати як прототипи аналогічних дворізцевих з тією лиш різницею, що при свердлінні отворів великих (85...125 мм) діаметрів між центральним та периферійним різцями розміщують проміжний різець.

Зокрема, конструкція адаптивного свердла, що базується на основі конструктивної схеми дволезового ежекторного свердла, що працює за методом поділу ширини зрізу, подана на рис.1. Свердло складається із циліндричного корпусу 1, в отворах якого розташовано два різці (плунжери) – центральний 2 та периферійний 3, ширина їх лез вибрана так, що калібрувальна фаска центрального різця на 1.5...2 мм. перекривається периферійним різцем. У задній частині корпусу виконано кільцьову канавку, що закривається привареною накривкою 5 та заповнюється рідиною. Таким чином, плунжери різців з'єднані між собою гідравлічним шарніром, що передає вісьове

зусилля подачі від корпусу до різців з одночасним вирівнюванням сил на обох різцях. Для запобігання просочування рідини через щілини між рухомими частинами конструкції плунжери ущільнюються, а заливний отвір заглушують конічним корком 4. Різці мають виконувати тільки зворотно-поступальні рухи; тому для запобігання обертанню у корпус запресовано два напрямні штифти 6, які, крім того, ще й додатково звільняють плунжери різців 2 і 3 від дії згинальних та крутних моментів. Своїми виступами з корпусу штифти входять у відповідні отвори різців. Для можливості блокування переміщень різців (заточування різців у зборі з корпусом та ін.) у штифтах виконують внутрішні глухі отвори із різьбою, а у відповідних отворах різців - місця для головок блокувальних гвинтів.

Відстань між різцями і корпусом вибирається з урахуванням величини ходу плунжера та податливості рідини під навантаженням. Для базування свердла в отворі на корпусі останнього розміщено три напрямні пластини (виготовлені з вольфрамо-кобальтового сплаву ВК3, ВК6 або ВК8) із зворотною конусністю 1:100. Для запобігання заклинюванню свердла в отворі напрямні пластини розташовують несиметрично. Свердло кріпиться хвостовиком до порожнистої штанги відповідної довжини шляхом різьбового з'єднання обох елементів з допомогою багатозахідної прямокутної різьби. Внутрішня порожнина корпусу та штанги служить для транспортування стружки та мастильно-охолоджувальної рідини (МОР), а також додаткового охолодження корпусу інструменту.

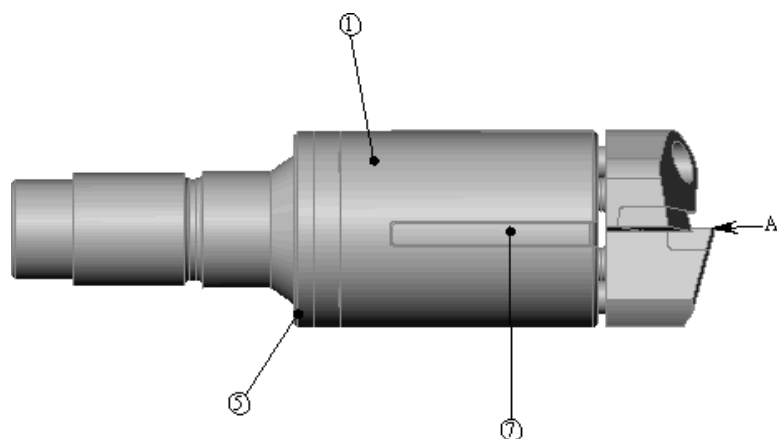
Принцип дії адаптивного інструмента базується на тому, що тиск всередині рідини передається в усі боки рівномірно, тобто при однакових діаметрах плунжерів, вісьові реакції різців на силу, що діє на них з боку корпусу будуть завжди однаковими. Насправді, через сили тертя між рухомими частинами свердла цей принцип частково порушується. Припустимо, що при свердлінні сила на одному з різців зростає, і різниця сил на обох різцях є більшою за сумарну силу тертя. Зростання сили на різці спричинить додаткове переміщення його плунжера і, як наслідок, додаткове зростання тиску. Навантаження на інший плунжер пропорційно зростає, що викличе збільшення глибини різання на цьому різці, тобто інструмент адаптивно підлагоджується до зміни умов роботи (різниці сил на різцях). Якщо ж різниця сил на різцях є меншою за сумарну силу тертя в рухомих елементах конструкції, то плунжер утримуватиметься силою тертя, переміщення його буде неможливим і, як наслідок, неможливою буде адаптація. Тому в даній конструкції необхідно зменшувати тертя, оскільки воно формує зону нечутливості адаптивного свердла.

Автоматизоване визначення навантажень на свердло у процесі адаптивного свердління базується на розрахунку параметрів навантажень на основі відомих залежностей для рекомендованих режимів різання.

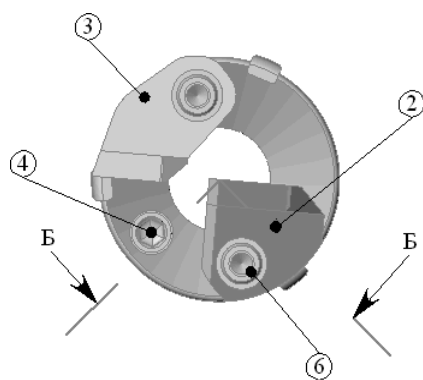
До механічних навантажень, що діють на свердло у процесі його роботи, належить вісьову силу P_o та крутний момент $M_{кр}$. Величини механічних навантажень залежать від режимів різання, фізико-механічних характеристик оброблюваного матеріалу та матеріалу леза і діаметра свердла. З метою встановлення силових параметрів адаптивного свердла зроблено аналіз залежності крутного моменту $M_{кр}$ та вісьової сили P_o від величини подачі S при свердлінні та розсвердлюванні отвору $\varnothing 55\text{мм}$ твердим сплавом Т15К6 у деяких (типових) матеріалах. Отримана база даних використовується в автоматизованому розрахунку.

Твердотілу модель конструкції адаптивного свердла виконано в системі автоматизованого проектування SolidWorks 2000, що функціонує на основі графічного ядра Parasolid. Як відомо, при більшій кількості елементів, на які поділено модель, більшою є і точність розрахунків. З іншого боку, велика кількість елементів вимагає великих ресурсів ЕОМ. Тому кількість елементів, на які розподіляють модель, має бути оптимальною, і математична модель конструкції адаптивного свердла адекватною фізичній. У даному випадку точність $\leq 1\%$ досягається за таких параметрів сітки:

елемент – тетраedr з параболічною апроксимацією граней (число граней – 4, число вузлів – 10), розмір елемента $3.5 \pm 0,175$ мм, загальна кількість елементів – 38371, загальна кількість вузлів – 60568.



Вид А



Б - Б

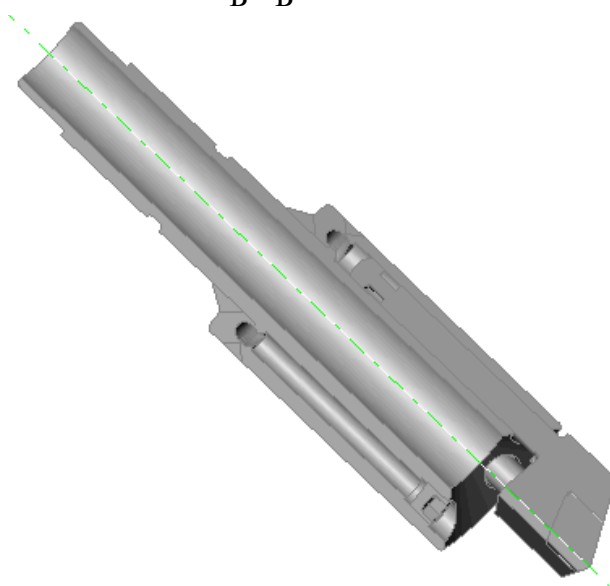


Рис.1. Конструкція адаптивного свердла з рухомими лезами.

Значення тиску обмежується, в першу чергу, типом ущільнення плунжерів в отворах корпусу. При конструюванні адаптивного свердла діаметром 50 мм прийнято

діаметр плунжера 8 мм, тип ущільнення – гумове кільце 004-008-25-2-6 ГОСТ 9833-73 із захисним обсадженням кільцем із фторопласту товщиною 1,5 мм, що характеризується максимальним значенням тиску – 50 МПа (короткочасно до 60 МПа), максимальним значенням швидкості переміщення штока – 0,5 м/с, робочим діапазоном температур -20...+200 °С.

Величину допустимого вісьового навантаження визначаємо виходячи із допустимого тиску (50 МПа) та площі плунжерів ($\varnothing$ 8 мм). Виконавши відповідні обчислення, знаходимо $P_0 = 5026$ Н. Приймаємо максимальну розрахункову вісьову силу $P_0 = 5$ кН. Для максимальної вісьової сили 5 кН величина максимального розрахункового моменту становить 100 Н·м. Також умовно приймемо різеву ділянку хвостовика свердла жорстко защемленою.

Напружено-деформований стан складеної конструкції адаптивного свердла визначається за допомогою методу скінчених елементів, реалізованого на ПЕОМ у середовищі програмного продукту COSMOS\Works 5.

Для оцінки міцності конструкції використано критерій октаедральних дотичних напружень (критерій Губера – Мізеса – Генки), який достатньо адекватно описує граничний стан широкого класу пластичних матеріалів (у тому числі й вуглецевих та хромо-нікелевих сталей). Графічну інтерпретацію напруженого стану конструкції адаптивного свердла подано на рис.2.

На основі аналізу графічних залежностей можна зробити такі висновки: найбільші напруження (603 МПа) виникають у місцях виходу плунжерів та штифтів із корпусу, тому гострі краї на корпусі при виході плунжерів та штифтів необхідно скруглювати. Напруження у кільцевій канавці (зварні шви) та канавці хвостовика, що служить для виходу інструмента при нарізуванні прямокутної різі, відносно незначні – 200 та 250 МПа відповідно.

На рис.3 подано результативні деформації елементів свердла. Можна зробити висновок, що найбільше деформуються різці інструмента (сумарна деформація становить 0,15 мм). На цьому ж рисунку подано сітку скінчених елементів.

Джерелами тепла для даного інструменту є робочі грані різальних та напрямних твердосплавних пластин. За оптимальних режимів обробки основна частина тепла відводиться МОР та стружкою (до 70%), решта нагріває деталь ($\approx 20\%$) та інструмент ($\approx 10\%$). Очевидно, що нагрівання деталі та інструменту небажане через зміну розмірів та зменшення міцності останнього. Для визначення температури інструменту приймемо температуру в зоні різання постійною, що дорівнює 800 °С (красностійкість твердих сплавів Т15К6, ВК8 та ін.), температуру на напрямних гранях трохи меншою – 500 °С. У зв'язку з тим, що оброблювані деталі можуть мати різні конфігурації і виконуватися з різних матеріалів, для спрощення розрахунків відвід тепла деталлю враховувати не будемо. Зважаючи на напрями руху МОР та стружки, тепло від стружки передаватиметься МОР, тому відвід тепла стружкою замінимо відводом тепла мастильно-охолоджувальною рідиною. Вся МОР не може випаруватися (умова виводу елементної стружки), тому приймемо максимальну середню температуру вихідного потоку МОР – 80°C, а вхідного - 70°C (це забезпечуватиметься необхідними витратами МОР). Режим охолодження вважаємо усталеним, тобто незмінним у часі. Це відповідає умові статичного теплового розрахунку.

Як впливає із прийнятих допущень, розрахункова температура буде трохи вищою від фактичної (не враховано відвід тепла деталлю) або будуть трохи завищені режими охолодження (подання МОР). Оскільки метою розрахунку є врахування можливого зниження міцності через тепло та заклинювання рухомих вставних різців (плунжерів) у пазах корпусу, що може привести до втрати функціональної здатності інструменту, незначне збільшення коефіцієнтів запасу міцності та надійності економічно виправдане.

На основі результатів статичного теплового розрахунку, виконано у середовищі

програмного продукту COSMOS\Works5, також визначено, що температура у максимально напруженій ділянці конструкції (вихід плунжерів з корпусу) сягає $250...300^{\circ}\text{C}$. Таким чином, подача мастильно-охолоджувальної рідини продуктивністю 40 л/хв, цілком достатня для охолодження свердла діаметром 50 мм.

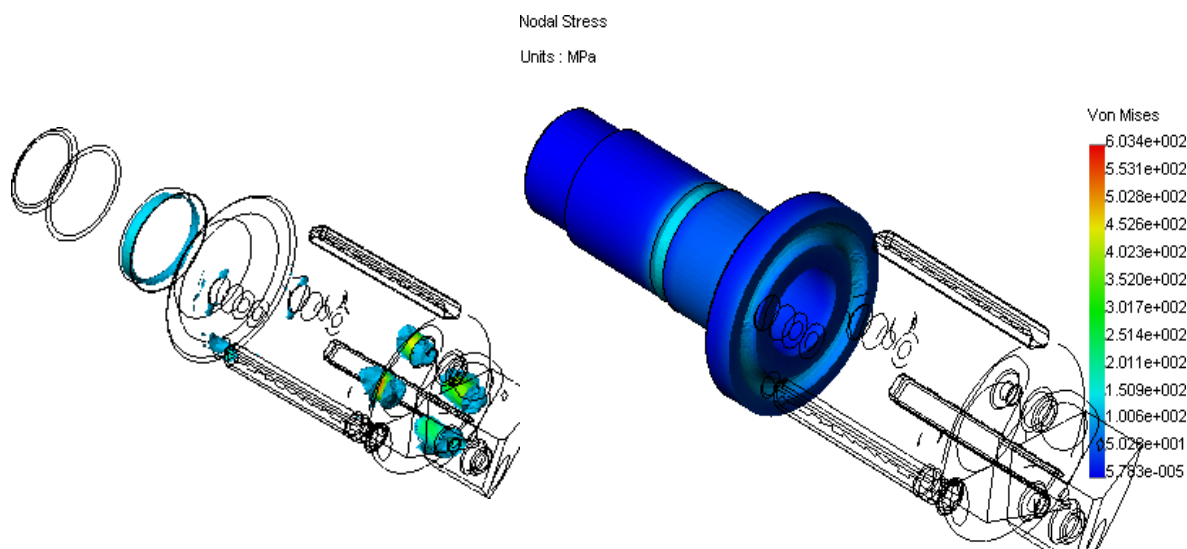


Рис.2. Напружений стан конструкції адаптивного свердла.

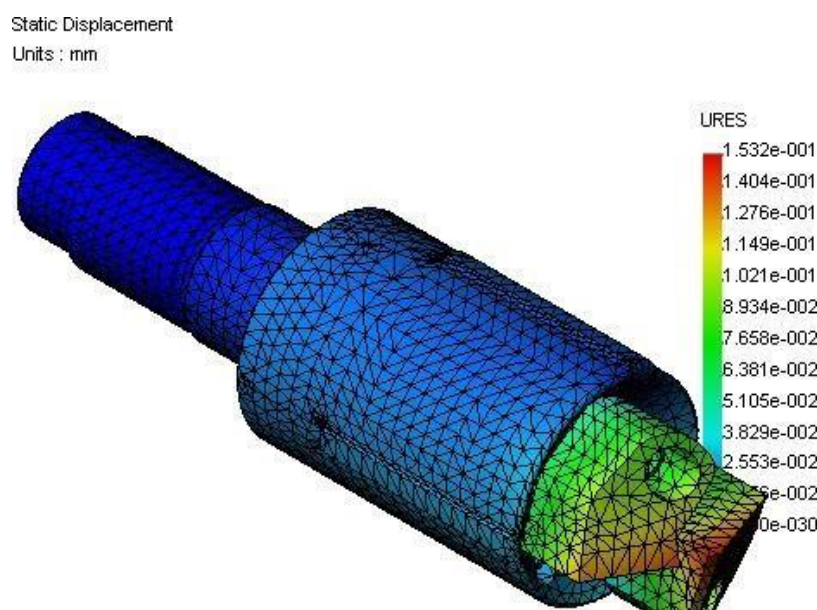


Рис.3. Графічне зображення деформації свердла під навантаженням.

Враховуючи особливості напружено-деформівного та термічного стану інструменту, доцільно для виготовлення конструктивних елементів вибрати групу високоміцних середньолегованих сталей 25Х2ГНТА, 30ХГСН2А, 40ХГСН2МА. Сталі добре деформуються у гарячому стані, зварюються дуговою ручною та автоматичною зваркою в середовищі захисних газів або під флюсом. Для досягнення високої міцності сталі піддають звичайному гартуванню на мартенсит і низькому відпуску при $220\div 250^{\circ}\text{C}$, що поліпшує пластичність, в'язкість і особливо опір руйнуванню при збереженні високого рівня міцності. Для деталей, від яких вимагається підвищена зносостійкість, використовують хромове покриття, що наноситься на зміцнену

поверхнево-пластичною деформацією поверхню. Для запобігання протіканням у гідросистемах хромована поверхня піддається алмазному вигладжуванню. Для відновлення зношеного хромового покриття допускається повторне хромування (до 5 разів) після зачищення.

Як впливає з особливостей експлуатації адаптивного свердла, ресурс окремих його елементів буде різним. Так, ресурс різця з припаяною пластинкою визначається зношуванням (втратою стійкості) різальної пластинки та величини її запасу на переточування, а ресурс корпусу – втомною міцністю канавки хвостовика та зношуванням (виробкою) каналу плунжера. Величина запасу на переточування обмежується динамічними характеристиками свердла, а ресурс каналу плунжера – інтенсивністю зношування хромованого покриття плунжера та можливістю його регенерації.

Величина сточування s_0 при зношуванні твердосплавного леза свердла на задній поверхні становить $s_0 = 0,4$ мм. Розрахунок показує, що загальний термін служби адаптивного інструменту за умови 25 заточувань дорівнює $T_{\text{заг}} = 1170 \text{ хв} = 19,5$ год. Із аналізу умов експлуатації елементів свердла випливає, що такі фактори, як втомна міцність та зношування, є не основними при формуванні його ресурсу. Отже, для забезпечення вищої зносостійкості фрикційної пари плунжер – корпус доцільно хромувати лише відповідні отвори корпусу.

Комп'ютерні розрахунки також доповнені виявленими у процесі експериментальних робіт закономірностями для адаптивного свердла з рухомими лезами. При цьому можна зробити висновок про тісний зв'язок між швидкістю, силою, температурою різання, геометричними параметрами інструменту, контактними процесами у зоні лезо-деталь, деформаціями шару, що зрізується.

Сформована таким чином база даних дозволяє виконувати оптимальне конструкторське проектування інструменту, режимів оброблення матеріалу з урахуванням заданої якості поверхонь.

The main characters of adaptive type drills with interedge hydraulic links design are discussed. The computer calculations results of mechanical stress, static displacements and temperature picture of the drill with the help of COSMOS\Works5 software are given.

Література

1. Нагорняк С.Г., Луцив И.В. Обработка отверстий большого диаметра инструментами с адаптивной кинематической связью // Технология и организация производства. - Киев. – 1987. - №4. – С.27-29.

Одержано 11.12.2000 р.