



MISKOLCI EGYETEM



SÁLYI ISTVÁN GÉPÉSZETI TUDOMÁNYOK
DOKTORI ISKOLA

GÉPÉSZETI ALAPTUDOMÁNYOK TÉMATERÜLET
GÉPEK ÉS SZERKEZETEK TERVEZÉSE
TÉMACSOPORT

Gép- és Terméktervezési Tanszék

Elektromos ütvefűrőgépek fejlesztése és hatékonyságának vizsgálata

Ph.D. értekezés tézisei

Készítette:

Kakuk József

okleveles gépészmérnök

Doktori Iskola vezető:

Dr. Tisza Miklós

a műszaki tudományok doktora, egyetemi tanár

Témavezető:

Dr. Péter József

egyetemi docens

Miskolc

2013

Bíráló bizottság

Elnök:

Dr. Tisza Miklós, DSc

egyetemi tanár ME

Titkár:

Dr. Marosné dr. Berkes Mária, PhD

egyetemi docens ME

Tagok:

Dr. Váradi Károly, DSc,

egyetemi tanár BME

Dr. Takács György, PhD,

egyetemi docens ME

Dr. Czinege Imre, CSc,

egyetemi tanár SZIE

Hivatalos bírálók:

Dr. Bercsey Tibor, PhD

egyetemi tanár BME

Dr. Szabó Tamás, CSc

egyetemi docens ME

Tartalomjegyzék

Bevezetés

1. A kutatás célkitűzései	3
2. A szakirodalom áttekintése	3
3. Ütvefűrógépek tervezési folyamata	5
4. Az ütvefűró mechanizmus vizsgálata	5
5. Új tudományos eredmények	9
6. Az eredmények hasznosítása, további célkitűzések	10
7. Summary	10
8. New scientific results	11
9. Publikációk az értekezés témájában	12
10. Irodalomjegyzék	12

Bevezetés

Az elektromos kéziszerszámgépek közül az egyik legismertebb az ütvefűrógép. Az utóbbi évtizedekben kismértékben változott az ütvefűrógép felépítése és funkciói. A fejlesztések a méret és súly csökkentésére, a felhasználás könnyebbé és kényelmesebbé tételére és a funkciók bővítésére irányultak, de eltekintve a fúrókalapácsoktól, az ütvefűrógépek belső mechanikai felépítése csak kismértékben változott. A motor és a tokmány közötti áttételt megvalósító hajtómű és az alternáló mozgást létrehozó ütőmű az elmúlt évtizedek alatt szinte változatlan maradt. A jelenleg fejlesztés alatt lévő gépek a megváltozott követelmények miatt szükségessé teszi az ütvefűró mechanizmus felülvizsgálatát, és annak áttervezését.

1. A kutatás célkitűzései

A szakirodalomban és a Robert Bosch Power Tools-nál rendelkezésre álló elméletek, az eddig publikált eredmények és azok hiányosságai figyelembe vételével a következő célokat tűztem ki: Egysebességű ütvefűrógép ütőtárcsa geometriája és a gép mechanikai paraméterei hatásának vizsgálata az ütőmunkára. A mechanikai paraméterek vizsgálata, konstrukciós következtetések levonása. Az ütőmechanizmusban keletkező impulzus átadásának és terjedésének vizsgálata. Egyszerűsített mechanikai modell megalkotása, saját fejlesztésű végesselemez megoldás programozása és az ütőmunkát befolyásoló paraméterek vizsgálata. Szoftveres végesselemez számításának elvégzése CAD modellek alapján. Az elméleti modellek vizsgálata alapján kapott eredmények kísérleti úton történő ellenőrzése az ütvefűrógépek betonfűrási hatékonyságának mérésével. Az ütvefűrógép fejlesztés, gyártás és garancia analízis során összegyűjtött konstrukciós tapasztalatok kiértékelése, a termékfejlesztés módszertani eszközeinek rendszerezett leírása.

2. A szakirodalom áttekintése

A dolgozat első része a kéziszerszámgépek tervezésmódszertanával, fejlesztési eszközeivel foglalkozik. A multinacionális cégek termékfejlesztési folyamataiban is nagy szerepet kapnak a módszeres géptervezés tudományának eredményei. A módszeres géptervezéssel Németországban az 1920-as évektől kezdődően foglalkoznak. A különböző, a konstrukciókat értékelő eljárásokról F. Kesselring már 1937-ben publikált, 1942-ben [1] bemutatta az általa fejlesztett műszaki-gazdasági konstrukcióvariáns értékelő eljárást. Ezt később a VDI 2225 [2] írta le. Hugo Wögerbauer a 1943-ban megjelenő könyvében [3] javasolta, hogy a tervezési feladatot részfeladatokra kell bontani. Az ilmenai tervező iskola megalapítói Werner Bischoff, Arthur Bock és Friedrich Hansen voltak. Folyamatosan foglalkoztak a konstruktórképzéssel, amelyről a [4] mű ad számot. 1952-ben találkozhatunk először a „Konstruktionssystematik” azaz tervezési rendszer kifejezéssel G. Biniek [5] munkájában. F. Hansen már az 1950-es években foglalkozott a tervezésmódszertannal. Tervezési rendszerét 1965-ben megjelent könyvében [6] foglalta össze. A berlini tervező iskolát Wolfgang Beitz alapította. „A géptervezés elmélete és gyakorlata” című munkáját a darmstadti iskola alapítójával, Gerhard Pahllal együtt publikálta [7]. Vladimir Hubka elsőként ismerte fel az

explicit műszaki rendszerelmélet (Theory of Technical Systems, TTS) [8] szükségességét, mivel egy létező elmélet teszi lehetővé a megfelelő módszerek kifejlesztését [9]. Ezt később G. Klaus 1965-ben megerősítette [10]. V. Hubka az osztrák származású W. Ernst Ederrel közösen publikálta 1992-ben, az „Einführung in die Konstruktionswissenschaft” (Bevezetés a tervezéstudományba) című könyvét [11], [12]. Karlheinz Roth a számítógépek fejlődését felhasználva, már 1974-ben bevezette a Braunschweigi Műszaki Egyetemen a számítógéppel segített tervezést [13]. Genrih Saulovich Altshuller a TRIZ (*Theorija Reshenija Izobretatel'skih Zadach*), azaz a Feltalálói Problémamegoldás Módszerének megalkotója [14]. A TRIZ módszer és a német tervezési elméletek egyesítésére tett kísérletet a WOIS (Wiederspruchorientierte Innovationsstrategie) azaz az Ellentmondás orientált Innovációsstratégia. H. Linde és B. Hill 1993-ban ismerteti az általuk kifejlesztett módszert [15]. Magyarországon a legjelentősebb a budapesti tervező iskola, mely a terméktervezés tudományával és informatikai eszközrendszerének kutatásával foglalkozik. A kutatási terület hazai megalapozója a BME oktatója, Bercsey Tibor, akinek itt például a [16], [17], [18], [19] művei említhetők. Már 1979-ben a számítógépek géptervezési alkalmazásáról jelent meg publikációja [22] társszerzőkkel. A miskolci tervezőiskolát Terplán Zénó és Tajnafői József alapította. Döbröczeni Ádám a géptervezés általános elveinek terméktervezésre történő alkalmazásával foglalkozik [20], [21] melyet az oktatásba Kamondi László [20], [21] vezetett be. Tajnafői József [23], [24], [25] a szerszámgépek konstrukciós módszertanával kapcsolatosan több jelentős módszert fejlesztett ki. A mai nagyvállalatok a tervezési folyamatokban számos olyan önálló módszert is tartalmaznak, amelyek az utóbbi évtizedekben fejlődte ki, és terjedtek el. Az ok-okozati összefüggések rendszerezését, és alkalmazását a tervezésben, gyártásban Kaoru Ishikawa mutatta be 1968-ban [26]. A minőség-funkció csoportosítás, azaz a Quality Function Deployment (QFD), egy módszer, mellyel a felhasználói igények kifejezhetők minőségi elvárások formájában. A módszert Yoji Akao fejlesztette ki Japánban 1966-ban [27]. A hibamód és hatás elemzés (FMEA) az egyik először alkalmazott szisztematikus hibaelemzési módszer volt, amelyet amerikai hadiipar fejlesztett ki. A Toyota továbbfejlesztette a módszert és létrehozta a DRBFM rendszert, melynek első hivatalos a SAE 2013 márciusában publikálta [28]. A gyártásra és szerelésre tervezés módszertana, azaz a DFMA (Design for Manufacturing and Assembly) az automatizált gyártásra vonatkozó kutatásokból fejlődött ki a hetvenes években. A témáról 1970-ben jelent meg egy kézikönyv [29] a Massachusetts Egyetem kiadásában. G. Boothroyd és kollégája B. Wilson a Massachusetts Egyetemen egy három éves kutatóprogram keretében foglalkozott először a gyárthatóságra való tervezéssel [30],[31]. B. Lundberg és M. Okrouhlik 2000-ben megjelent publikációjában [32] a kőzetek ütfúrásának hatékonyságát vizsgálta háromdimenziós üreges fúrószár modellen keresztül végeelem módszer segítségével. A szerző azt állapította meg, hogy ütfúrás esetén a háromdimenziós esetben általában 4%-al kisebb a hatékonyság az egydimenziós eredményekhez képest, amely elhanyagolható különbség. Szintén B. Lundberg és M. Okrouhlik 2006-ban megjelent cikkében [33] a kőzetek ütfúrási folyamatát vizsgálta a hullám energia kőzetbe történő átadásának figyelembevételével. Ebben a vizsgálatban is végeelem módszert alkalmaztak háromdimenziós modellekkel. Arra a következtetésre jutnak, hogy a kőzetbe sugárzott energia sokkal inkább a visszapattanó fúrószár kinetikus és potenciális energiájának rovására jön létre. 1999-ben L. E. Chiang és D. A. Elías az általuk publikált cikkben [34] az ütés

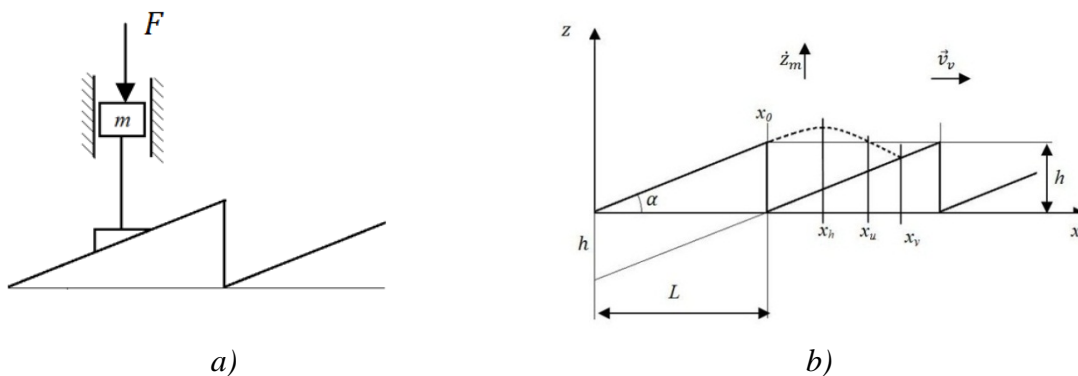
modellezésével foglalkoztak perkutáns-rotációs kőzetfűrés esetén, melyben egy alternatív megoldást mutatnak be. A fűrészár-kőzet kölcsönhatást nemlineáris rugóval és különböző réssel modellezték, amelyet saját fűrészi kísérletek útján hitelesítettek. A [35] mű szerzői 2011-ben kísérleti úton vizsgálták közetszerű rideg anyagok fűrészi és mechanikai tulajdonságait.

3. Ütfűrőgépek tervezési folyamata

A kéziszerszámgép fejlesztési folyamata alatt azt a hosszú, gyakran több éves, összetett folyamatot értjük, amely alatt egy termék az új ötlettől eljut a kereskedelmi forgalmazásig. Az előfejlesztés szakaszában a piaci igények és adatok alapján termékötletek, termék koncepciók kerülnek kidolgozásra. A fejlesztési szakasz célja az igények alapján egy optimális megoldás kiválasztása, majd a koncepció megvalósítása, a gép fő terveinek elkészítése, alkatrészeinek és a termék gyártásának megtervezése. A termékfejlesztés folyamata négy szakaszra bontható: koncepció tervezési fázis, megvalósítási fázis, gyártás előkészítési fázis, és piacnyitási fázis. A termék konstrukciójának készülségét a projekt során a teszt tervben meghatározott vizsgálatokkal követik és mérik. A folyamat első szakaszában, a korábban kialakított funkcióstruktúra és a funkciókhoz megtalált fizikai megoldások alapján, és a különböző tervezési szempontok figyelembe vételével megtervezik a gép egyes alkatrészeit. A folyamat második szakaszában az összes CAD modellről rajzdokumentáció készül, amelyek alapján a különböző beszállítók a gép egyes alkatrészeit gyártani képesek. Miután az összes beszállítótól érkező alkatrész véglegesnek tekinthető, a projekt a gyártás előkészítési fázisba lép. Az utolsó fázisban a cél a gyártósor felfuttatása, a dolgozók betanítása és olyan nagy mennyiségű gép legyártása, amellyel a gép értékesítése megkezdhető. A konstrukció megalkotása és kidolgozása során a termék fejlesztési szakaszaiban különböző támogató eszközök állnak rendelkezésre, melyek használatával a fejlesztési munka esetleges hibái kiküszöbölhetőek, vagy azok hatása csökkenthető.

4. Az ütfűrő mechanizmus vizsgálata

Az ütfűrő ütő mozgását egy homlokfogazású fogaskerék pár egymáson történő csúszása és sorozatos ütközése hozza létre. Feltételezzük, hogy a forgó mozgás állandó, az ütközések a forgó mozgás egyenletességét nem befolyásolják. Az ütőtárcsa és fogaskerék ütközései által okozott eltávolodás a géptestet axiális mozgásra kényszerítik.



5.1.ábra: a) Az egyszabadságfokú merev rendszer modellje b) a mozgás jellege

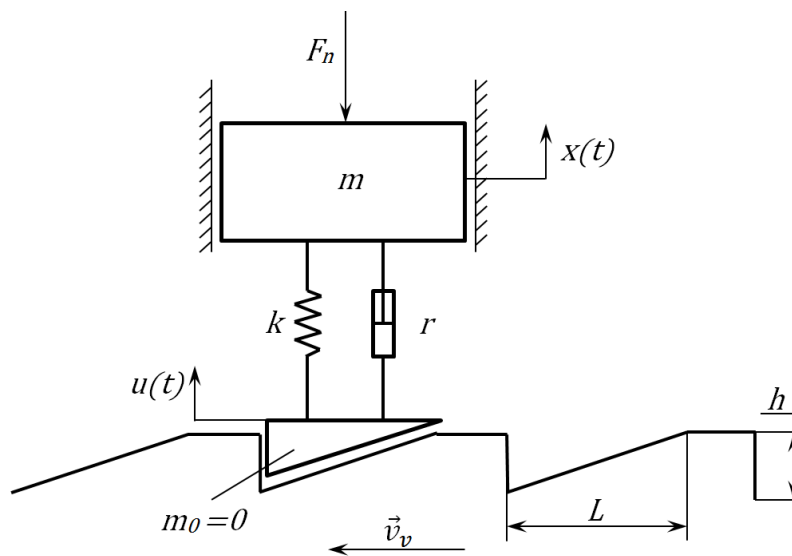
Az ütőmunkát, és azon keresztül a fúrési hatékonyságot az ütközések energiája határozza meg. Az ütvefúró mechanizmusnak átadott impulzus nagysága a gép tömegének, az ütközés előtti axiális irányú sebességétől függ. A mozgást első közelítésben a ferde hajításra jellemző módon írjuk le. A mozgás két szakaszra bontható: egy csúszási és egy repülési szakasz. A repülés mozgásegyenletéből a megoldás kétszeri integrálással kapható, a függőleges elmozdulás:

$$z_m = -\left(g + \frac{F}{m}\right)\frac{t^2}{2} + \frac{R\omega h}{L}t + h. \quad (5.2)$$

A repülési szakasz végén a gép tengelyirányú sebességét kiszámítva, az ütközési energia, azaz az ütőmunka:

$$W_{ii} = \frac{m}{2} \left\{ \sqrt{2hF_n \left[\text{mod} \left(\frac{\omega^2 h z_r^2}{2\pi^2 F_n} \right) + 1 \right] + \frac{z_r \omega h}{2\pi}} \right\}^2. \quad (5.3)$$

Az 5.3 kifejezésből látható, hogy az ütőmunkát az ütőtárcsa geometriai paramétereitől csak a fogszám és a fogak magassága befolyásolja. Az ütési energia a nyomóerő függvényében fokozatosan emelkedő, fűrészfog alakú, a fogak átugrása miatt. Az ütvefúrás közben, a nyomóerő hatására a lejtőn bekövetkező súrlódás miatt a növekvő nyomóerő hatására a gép fordulatszáma csökkenni fog, emiatt az ütési teljesítményre maximummal rendelkező görbét kaptunk, amely az ütvefúrásra nézve optimumot szolgáltat. A fúrógépben lévő nagy tömegű álló és forgórész, illetve az ütőtárcsa mechanikailag rugalmasan kapcsolódik egymáshoz. Az előző fejezetben tárgyalt dinamikai modellt annyiban módosítjuk, hogy az ütőtárcsa és a repülő tömeg között csillapított rugalmas kapcsolatot tételezünk fel. A szerkezetet egyszabadságfokú, elmozdulás gerjesztésű rezgő rendszerrel modellezzük, amely figyelembe veszi az elválást is. Az ütőtárcsa mozgását a lejtő geometriája és a forgásból adódó relatív sebesség határozza meg mindaddig, amíg az ütőtárcsa a lejtőtől el nem válik, azaz a rugó és csillapítás által kifejtett erő kisebb, mint zérus.



4.12. ábra: Az ütvefúró mechanizmus egyszabadságfokú rugalmas modellje

A rendszer mozgását kétféle egyenlettel [36] írjuk le:

$$\begin{cases} m\ddot{x} + r\dot{x} + kx = ku + r\dot{u} - F, & \text{ha } [k(x - u) + r(\dot{x} - \dot{u})] < 0 \\ m\ddot{x} = -F & , \quad \text{ha } [k(x - u) + r(\dot{x} - \dot{u})] \geq 0 \end{cases} \quad (5.4)$$

A (5.4) egyenlet a lejtőn való csúszás közben érvényes, míg a (5.5) egyenlet a repülés szakaszára vonatkozik. A mechanikai modellben alkalmazott rugóállandót és csillapítást egy konkrét gépen elvégzett zajmérés és nagysebességű kamerás felvételek alapján állapítottam meg. Az eredmények alapján jól látható, hogy az ütfűrő alatt a gép, az ütőtárcsa által gerjesztett rezgésektől alacsonyabb frekvenciájú lengéseket végez, amely az egymást követő impulzusok nagyságának különbségét okozza. Az ütfűrőgép hatékonyságának vizsgálata során nem tekinthetünk el az ütőmunka előállításában részt vevő alkatrészek rugalmasságától és tömegétől. Az ütőtárcsán létrejött impulzus, mint hullám terjed és adódik át a fűrőszár végére, ahol a közet megmunkálása történik. A jelenség leírásához egy egyszerűsített prizmatikus rúdmodellből indulunk ki. Vizsgáljuk a rúd egy elemi hosszúságú szakaszának dinamikáját. A rúdelem hossza dx , a rúdelem elmozdulása $u(x,t)$, a rúdelem bal oldali felületén ébredő rúderő $N(x,t)$, a jobboldali $N(x+dx,t)$. Az $N(x+dx,t)$ rúderőt sorbafejtve és a lineárisnál magasabb rendű tagokat elhanyagolva a rúdirányú impulzustétel a [36] következő alakban írható:

$$\ddot{u}dm = -N(x,t) + N(x,t) + \frac{\partial N(x,t)}{\partial x} dx. \quad (5.6)$$

A prizmatikus rúd longitudinális hullámokra érvényes alakja a jól ismert hullámegyenlet:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = v_H^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}. \quad (5.7)$$

A (5.7) hullámegyenletet nullára rendezve és a deriválási műveleteket kiemelve a következő alak írható:

$$0 = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - v_H^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \left(\frac{\partial^2}{\partial t^2} - v_H^2 \frac{\partial^2}{\partial x^2} \right) u. \quad (5.8)$$

A véglap keresztmetszetének sebessége az ott fellépő alakváltozással is felírható:

$$v(L,t) = \frac{\partial u(L,t)}{\partial t} = -v_H \frac{\partial u_L}{\partial x} + v_H \frac{\partial u_R}{\partial x}. \quad (5.9)$$

Elvégezve az átalakításokat az alábbi differenciálegyenlet adódik:

$$\frac{dF}{dt} + \frac{F \cdot k_{pl}}{Z} = -\frac{2N_i}{Z}. \quad (5.10)$$

ahol a k_{pl} a közet képlékeny merevségét jelöli.

Ez a differenciálegyenlet tartalmazza a fúrószár végén, a falnál fellépő erőt és a haladó hullámból származó rúderőt, amelyek közötti összefüggés határozza meg az ütés impulzusából a közet megmunkálására jutó erőt. Az egyenlet megoldása:

$$F(t) = -\frac{2}{Z} \int_0^t e^{-\frac{k_{pl}}{Z}(t-\tau)} N_i(\tau) d\tau = -\frac{2}{Z} \int_0^t e^{\frac{k_{pl}}{Z}(\tau-t)} N_i(\tau) d\tau . \quad (5.11)$$

Ezen összefüggés alapján, a rúd végén kialakuló munkavégző impulzus legnagyobb értéke exponenciálisan változó beeső impulzus alakkal érhető el. Esetünkben az ütevfúrógép ütőtárcsája által létrehozott, az impulzus alakját konstrukciósan nehéz befolyásolni. A továbbiakban a hullámterjedés hatását vizsgáljuk az ütevfúrás hatékonyságára a szakaszonként állandó rúdban Ehhez állítsuk elő a (5.7) hullámegyenlet végeselemes leírásához szükséges egyenleteket! A (5.7) hullámegyenletet megszorozva $\delta u(x)$ virtuális elmozdulással és integrálva a rúd térfogatán az alábbi egyenletet kapjuk:

$$\int_0^L \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \delta u A dx - \int_0^L v_H^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \delta u A dx = 0 . \quad (5.12)$$

A vizsgált tartományt osszuk fel összesen n^e számú két csomópontú véges elemre! Az elmozdulást elemenként lineárisan approximáljuk:

$$u^e(\xi) = \left(1 - \frac{\xi}{L^e}\right) u_i + \frac{\xi}{L^e} u_j = \begin{bmatrix} 1 - \frac{\xi}{L^e} & \frac{\xi}{L^e} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_i \\ u_j \end{bmatrix}, \quad (5.13)$$

ahol ξ a rúdelemhez kötött lokális koordináta, L^e a rúdelem hossza, u_i és u_j a rúdelem végpontjának elmozdulása, (csomóponti elmozdulás). A bevezetett jelöléseket alkalmazva, behelyettesítve a kifejezéseket kapjuk a hullámegyenlet diszkrétizált alakját:

$$\sum_{e=1}^{n_e} \delta \mathbf{q}^{eT} \int_0^{L^e} \mathbf{N}^{eT}(\xi) \mathbf{N}^e(\xi) A^e d\xi \ddot{\mathbf{q}}^e + \sum_{e=1}^{n_e} \delta \mathbf{q}^{eT} \int_0^{L^e} \mathbf{B}^T(\xi) v_H^2 \mathbf{B}(\xi) A^e d\xi \mathbf{q}^e = \frac{F(t)}{A\rho} \delta u_1, \quad (5.14)$$

ahol $\mathbf{N}^e(\xi)$ a végeselem approximációs mátrixa, $\mathbf{B}^e(\xi)$ a végeselem elmozdulás-alakváltozás mátrixa, és \mathbf{q}^e az elem csomóponti elmozdulás vektora. Alkalmazva a végeselem módszer szokásos összegzési sémáját, az alábbi mátrixegyenletet kapjuk:

$$\delta \mathbf{q}^T [\mathbf{M} \ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{K} \mathbf{q}] = \frac{F(t)}{A\rho} \delta u_1, \quad (5.15)$$

ahol $\mathbf{q}, \ddot{\mathbf{q}}, \delta \mathbf{q}$ a szerkezet csomóponti elmozdulásainak, gyorsulásainak és az elmozdulások variációjának oszlopvektora. A szerkezet általánosított tömegmátrixa \mathbf{M} , a szerkezet általánosított merevségi mátrixa \mathbf{K} . A csomóponti elmozdulások variációi tetszőlegesen, ezért az

$$M\ddot{q} + Kq = f. \quad (5.16)$$

mátrixegyenlet érvényes, ahol $f^T = \left[\frac{F(t)}{A\rho} \ 0 \ \dots \ \dots \ 0 \right]$ a szerkezet terheléseinek oszlopvektora. A mozgásegyenlet numerikus megoldására a trapéz módszert alkalmazzuk. Az említett számításra Scilab szoftvert készítettem. Megfigyelhető, hogy a fúrószár csúcán mérhető kontakterő, amely a közet alakítását végzi a domináns első impulzus. Ennek nagysága és időbeli lefutása okoz valódi alakító munkát. A beérkező impulzus a kihajtó tengelyen végighalad, de a keresztmetszet változás és a lengő tömeg miatt számos reflexió jön létre. A többszörösen visszaverődő és a lengő tömeget felgyorsító hullámok az energia szóródását okozzák, így csökkentik a fúráshoz szükséges impulzusok nagyságát. A tokmány tömegének felére csökkentésével az első impulzus nagysága hozzávetőlegesen 40%-al nőtt meg, azaz a tokmány tömegének csökkentésével jelentős hatékonyság növekedést lehet elérni. A bemutatott egyszerűsített végeleemes modellt az Abaqus kereskedelmi szoftverrel hitelesítettem. A vizsgált modell a fúrógép fogaskerekét, fúrótengelyét, a tokmány testet, a tokmány pófákat, tokmány gyűrűt a fúrószárat tartalmazza. Az impulzusterjedés a végeleemes szimuláción látványosan követhető, az előző alpontban kifejtett fizikai jelenség megfigyelhető. A reflektálódó hullám hatásának jellege jól egyezik az egyszerűsített végeleemes modell eredményével.

5. Új tudományos eredmények

- T1.** Az ütfúrógép hatékonyságát befolyásoló tényezők vizsgálatára egyszabadságfokú merev mechanikai modellt dolgoztam ki, amely alkalmas az ütőmunka meghatározására. Kimutattam, hogy az ütfúrás során, a fordulatszám és a nyomóerő függvényében fogátugrás jöhet létre. Megállapítottam, hogy a sebességszabályzás nélküli gépeknél a fordulatszám esése miatt, a nyomóerő és az ütfúrás hatékonysága optimummal rendelkezik. A számítási eredmények igazolására végzett kísérletek jellegükben visszaigazolták a modellben feltételezett viselkedést.
- T2.** A fúrási hatékonyság jobb megközelítése céljából egyszabadságfokú rugalmas modellt fejlesztettem ki, amely alapján egy szimulációs szoftvert dolgoztam ki. A modell alkalmas az ütfúrás során létrejövő impulzusok nagyságának és időbeli lefutásának kiszámítására. Mérések és számítás alapján megállapítottam, hogy nagy fordulatszámok, és kis nyomóerő mellett a gép olyan lengése jön létre, melynek frekvenciája a gerjesztő ütési frekvenciától eltér. A jelenség az egymást követő impulzusok egyenetlenségét okozzák, amely hatékonyság csökkenést eredményez.

T3. Az ütő mechanizmusban terjedő hullám vizsgálatára végeselemes egydimenziós modellt és szoftvert dolgoztam ki. Az ütő mechanizmust szakaszonként állandó keresztmetszetű rúddal, koncentrált tömeggel modellezi. A fúrószár és a megmunkált anyag kapcsolatát lineárisan keményedő, rugalmas-képlékeny anyag törvénnyel és egyoldalú érintkezéssel veszi figyelembe. A számítások azt mutatják, hogy a változó keresztmetszetek és a tokmány, mint lengő tömeg lehetséges csökkentése javítja az ütvefúrás hatékonyságát.

6. Az eredmények hasznosítása, további célkitűzések

Az értekezésben leírt tervezési folyamatot és eszközöket egy különálló segédletben kívánom részletezni. Ezt személetes ábrákkal és folyamatleírásokkal ellátva egy jól használható, magyar nyelvű termékfejlesztési segédletként lehet továbbfejleszteni.

A konstrukciós fejezetben leírt következtetések alapja a számos meghibásodási jelenség, melyek az ütvefúrógépek tesztelése és használata során jelentkeztek. Ezen meghibásodásokat célszerű maradéktalanul összegyűjteni, majd a különböző meghibásodási képeket lehetséges gyökér okokkal összekapcsolni. Ezen kapcsolatok egy rendszerben foglalhatók össze, melyben az információk felsorolásos, vagy mátrix formában lennének rögzítve.

Az ütő mechanizmus vizsgálatánál érdekes kutatási területnek mutatkozik a modellben leírt viselkedés különböző ütőtárcsa geometriák és fogszámok esetén. Mivel az ütvefúrás során a fúrószár nyomattal is terhelt, a kidolgozott modellben a longitudinális hullámok mellett a fúrószárban ébredő csavaró igénybevétel hatásának vizsgálata látszik szükségesnek. Ebben az esetben a csavaró hullámok leírásához szükség van a meghajtás jellegének és a fúróhegy súrlódásának vizsgálatára is. Az ütvefúrás hatékonyságának mérése a fúrószárban terjedő hullámok mérésével fejleszthető. A fúrókalapácsok ütő száraiban szokásos nyúlásmérő bélyeges mérés továbbfejlesztésre szorul, mivel az ütvefúrók esetén a fúrószár forgása az ilyen jellegű mérést nem teszi lehetővé.

7. Summary

In this dissertation the development methods and tools of electric impact drills are presented, construction experiences are explained. The influencing construction factors on the efficiency of impact drilling are investigated. After the systematization and introduction of the development of impact drills, the construction of one-speed drills is described. In the review of literature, the states and results of classic design schools are summarized. The known design methods and tools, used currently in the industry are expounded. The development and design process of impact drills and power tools are presented. Support methods of product development are listed and described. Based on the author's design leader experiences and the available literature, the useful construction knowledge of impact drills is presented. To investigate the efficiency of percussion drilling a one-degree of freedom mechanical model is built. Based on the equations, the effects of the influencing parameters are calculated in case

of an existing design. For the validation of the result, a measurement series was performed. With the improved elastic mechanical model the phenomenon of vibration on different frequencies following that the excitation is shown. To determine the parameters of the model and to evaluate the results high speed camera records, and noise measurement were done. For the calculation of mechanical model a software was developed. The effect of geometry of impact mechanism on the wave propagation was examined. The mechanical model was built to investigate the wave equation with finite element method. The software was developed. The results of the software were compared with a simulation done with commercial software on the original 3D data.

8. New scientific results

- T1.** For the investigation of the influencing parameters of the efficiency of impact drills I have created a one-degree-of-freedom rigid mechanical model that is suitable for the determination of impact work. I have proved that during impact drilling, depending on the rotational speed and pushing force, cog jump can occur. I have stated that the pushing force and the efficiency have got optimum, because of the drop of rotational speed, in case of machines without speed regulation. The experiments made for the validation of the calculated results have proved the assumed behaviour of the model.
- T2.** For a better approach of the drilling efficiency I have developed a one-degree-of-freedom elastic model, and worked out the simulation software. The model is suitable to calculate the magnitude and temporal change of the impulse during percussion drilling. Based on measurements and calculation, I have established that with high rotational speed and low pushing force indicate a vibration of the tool which has different frequency than the exciting frequency. The phenomena have caused the deviation of the following impulses, which result in decrease of efficiency.
- T3.** For the investigation of the wave, propagating in the impact mechanism, I have developed a one-degree-of-freedom finite element model and software. It is modelling the impact mechanism with bar consist of different diameter steps. The contact of processed material and tool is taken into consideration with linearly hardening, plastic-elastic material and single side contact. The calculation result has shown that the possible decrease of changing cross-sections and the chuck as a vibrating mass increase the efficiency of impact drilling.

9. Publikációk az értekezés témájában

[KJ 1] Kakuk József: An assessment of the efficiency of percussion drills, ICT-2012, 13th International Conference on Tools, 27 – 28 March 2012, Miskolc, Hungary

[KJ 2] Kakuk József: Ütvefűrógépek ütő mechanizmusának dinamikai vizsgálata, Géptervezők és Termékfejlesztők XXIX. Országos Szemináriuma, 2013. november 7.-8. GÉP, 2013/7., LXIV. évfolyam, ISSN 0016-8572, pp 72-77.

Szakmai tudományos előadások az értekezés témájában

[KJ 3] Kakuk József: Product development process, Technology Center Engineering Seminar, Vonyarcvashegy, 2013. november 12.-13.

[KJ 4] Kakuk József: Ütvefűrógépek fejlesztése a hatékonyság figyelembe vételével, Géptervezők és Termékfejlesztők XXVIII. Országos Szemináriuma, 2012. november 8-9.

[KJ 5] Kakuk József: Kéziszerszámgépek fejlesztési folyamata és a tervezést támogató eszközök, MTA Műszaki Tudományok Osztálya Gépszerkezettani Tudományos Bizottságának ülése, 2013. november 28., BME Járművek és Járműrendszeranalízis Tanszék

10. Irodalomjegyzék

[1] Kesselring, F.: Die starke Konstruktion, 1942. Berlin - Siemensstadt

[2] VDI 2225 Blatt 3: Konstruktionsmethodik - Technisch-wirtschaftliches Konstruieren – Technisch-wirtschaftliche Bewertung, 1998.

[3] Wögerbauer, H.: Die Technik des Konstruierens, München, Berlin, 1943.

[4] http://www.tuilmnau.de/fileadmin/media/konstruktionstechnik/IMGK/Ilmenauer_Schule_1950-1965.pdf (2013.09.27)

[5] Biniek, G.: Konstruktionsystematik. Feingerätetechnik, 1952. Számítógéppel segített koncepcionális tervezési módszer

[6] Hansen, F.: Módszeres géptervezés, Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1969. p. 168

[7] Pahl, G. - Beitz W.: Konstruktionslehre– Handbuch für Studium und Praxis, ISBN 963 10 3796 7, Springer-Verlag, Berlin, 1981., 2003., 2005., 2007.

[8] Hubka, V.: Theorie der Maschinensysteme– Grundlagen einer wissenschaftlichen Konstruktionslehre, ISBN 3 540 06122 3, Springer-Verlag, Berlin, 1973

- [9] W. E. Eder; Theory of Technical Systems and Engineering Design Science – Legacy of Vladimir Hubka; International Design Conference - Design 2008 Dubrovnik - Croatia, May 19 - 22, 2008.
- [10] Klaus, G. (1965) Kybernetik in philosophischer Sicht (Cybernetics in Philosophical View) 4th ed., Berlin: Dietz Verlag
- [11] Hubka, V. - Eder, W. E.: Einführung in die Konstruktionswissenschaft, ISBN 3 540 54832 7, Springer-Verlag, Berlin, 1992
- [12] Werner Britten: An Illustration of Hubka / Eder's Design Science 10. Symposium "Fertigungsgerechtes Konstruieren" Schnaittach, 14. -15. Oktober 1999
- [13] Roth, K.: Konstruieren mit Konstruktionskatalogen, ISBN 963 10 7246 0, VEB Verlag Technik, Berlin, 1982.
- [14] Altshuller, G. S. - Shapiro, R.V.: About a technology of creativity, Questions of Psychology, No.6., 1956.
- [15] Linde, H. - Hill, B.: Erfolgreich erfinden –Widerspruchorientierte Innovationstrategie für Entwickler und Konstrukteure, Hoppenstedt Technik Tabellen Verlag, Darmstadt, 1993.
- [16] Bercsey, T.: A tervez  selm  let   s a CAD oktata  sa, G  P, Vol. 40., No 10., 1988.
- [17] Bercsey, T.: A g  pszerkeszt  s tudom  ny  nak fejl  d  se   s jellemz   von  sai. G  P Vol. 42., No. 2., 1990.
- [18] Bercsey, T. - Vajna, S.: Ein autogenetischer Ansatz für die Konstruktionslehre. Teil I. CAD-CAM Report, Vol. 13., Nr. 2. 1994., Teil II. CAD-CAM Report, Vol. 13., Nr.3. 1994.
- [19] Bercsey, T. - Lőrincz S.: A terméktervezés meg  j  l  s: az új alapelvek és integrált módszerek, Gyártástechnológia, No 7-8., 1996.
- [20] Bercsey T. - Döbröczöni   . - Dupcs  k Zs. - Horák P. - Kamondi L. - Kelemen T. - Péter J. - Tóth J.: Terméktervezés és fejlesztés, PHARE TDQM, Budapest, 1997.
- [21] Bercsey T. - Döbröczöni   . - Dupcs  k Zs. - Horák P. - Kamondi L. - Péter J. - Scholtz P.:   j termék kifejlesztése és bevezetése, a piacra vitel ideje és az azt meghatározó tényezők, PHARE TDQM, Miskolc, 1997.
- [22] Varga, L. - Bercsey, T. - Molnár, L. - Lebovits, I.: A számítógépek g  ptervez  si alkalmazásának tervez  selm  leti kérdései. Gép, XXXI. 1979 Nr.11. pp.416-421.
- [23] Tajnafői J.: Mechanizmusok sz  rmaztat  s elm  let  nek alapjai   s hat  sa a kreat  v gondolkod  sra, Akad  miai doktori   rtekez  s, Miskolc, 1991.
- [24] Tajnaf  i J.: Szersz  mg  ptervez  s I., Nemzeti Tank  nyvkiad  , Budapest 1973.
- [25] Tajnaf  i J.: Szersz  mg  ptervez  s II., Nemzeti Tank  nyvkiad  , Budapest 1990.

- [26] Ishikawa Kaoru, Guide to Quality Control, Quality Resources, NY, 1968.
- [27] Akao, Yoji (1994). "Development History of Quality Function Deployment". The Customer Driven Approach to Quality Planning and Deployment. Minato, Tokyo 107 Japan: Asian Productivity Organization. p. 339. ISBN 92-833-1121-3.
- [28] Warrendale Pa., March 18, 2013 - SAE International standard "J2886: Design Review Based on Failure Modes (DRBFM)"
- [29] G. Boothroyd - C. R. Poli - L. E. Murch: Handbook of Feeding and Orienting Techniques for Small Parts, 1975. University of Massachusetts at Amherst. Dept. of Mechanical Engineering. Automation Project
- [30] Geoffrey Boothroyd - Peter Dewhurst - Winston Anthony Knight; Product Design for Manufacture and Assembly, CRC Press, 2011.
- [31] Boothroyd G. Product Design fo Assembly, Department of Mechanical Engineering, University of Massachusetts, Amherst, MA, 1980.
- [32] B. Lundberg - M. Okrouhlik; Influence of 3D effects on the efficiency of percussive rock drilling, International Journal of Impact Engineering 25 (2001) 345}360
- [33] B. Lundberg - M. Okrouhlik; Efficiency of a percussive rock drilling process with consideration of wave energy radiation into the rock, International Journal of Impact Engineering 32 (2006) 1573–1583
- [34] L.E. Chiang - D.A. Elías; Modeling impact in down-the-hole rock drilling, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 37 (2000) 599±613
- [35] E. Yaşar - P.G. Ranjith - D.R. Viete; An experimental investigation into the drilling and physico-mechanical properties of a rock-like brittle material, Journal of Petroleum Science and Engineering 76 (2011) 185–193
- [36] Király Béla: Dinamika V., Miskolci Egyetemi Kiadó 1998.