

Forgattyús tengely törési okának meghatározása anyagvizsgálattal

Determination of the cause of a crankshaft fracture by material testing

KOZMA Ferenc¹, RÁTHY Istvánné Dr², Dr. VARGA Ferenc¹

¹ nyug. főiskolai docens, igazságügyi műszaki szakértő, fg.kozma@gmail.com

Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Gépészmérnöki Tanszék

² egyetemi docens, rathy.istvanne@bgk.uni-obuda.hu

Óbudai Egyetem, BGK Anyag-és Gyártástudományi Intézet

Abstract. In technical research laboratories not only new scientific results are achieved, but also the results and new test methods are applied in professional life and in operational areas of other professions as well. This way, the jurisdiction uses the modern material testing methods and facilities extensively.

In this paper an interesting and instructive case will be introduced. We were asked to examine the cause of a truck crankshaft fracture. Measurements, calculations, macro and micro studies were used to determine why the crankshaft broke.

A műszaki tudományos laboratóriumokban nemcsak az új tudományos eredmények elérése céljából folyik munka, hanem az eredményeket, illetve az új vizsgálati módszereket alkalmazzák is, nemcsak a szakmai életben, hanem más szakmák működési területein is. Ilyen módon az igazságszolgáltatás is széles körben igénybe veszi a modern anyagvizsgálati lehetőségeket.

Néhány érdekes és tanulságos esetet szeretnénk bemutatni szakember társainknak. Egy alkalommal azt kellett megvizsgálni, hogy miért tört el egy tehergépkocsi forgattyús tengelye. Mérésekkel, számításokkal, makro-és mikrovizsgálatokkal határoztuk meg a tönkremenetel okát.

Kulcsszavak: anyagtudomány, anyagvizsgálat, fáradt törés

Bevezetés

Egy MAN teher-gépkocsi hathengeres dieselmotor motorblokkját, csapágyfuratait, törött forgattyús tengelyét, siklócsapágyait, fogaskerekeit kellett megvizsgálni. A cél a törés okának megállapítása, valamint annak megválaszolása, hogy a motorblokk egy új főtengely beszerelése után működőképes lesz-e.

A motor alap meghibásodása 8 hónappal korábban történt, amikor a 6. hajtókar csapágy megsérült. A motor javítását egy autószerelő műhelyben végezték, ahol a főtengely köszörülését és a siklócsapágyak cseréjét is elvégezték.

A javítást követően 168 km megtétele után ugyanaz a hajtókar csapágy ismét meghibásodott. Az újbóli javítás során ugyanabban a műhelyben a teljes motort kiszerezték.

A motor blokkot és a forgattyús tengelyt ismét javították. A javító cég embere a forgattyúház 6. csapágy helyénél (a csapágy furatánál) 0,12 mm-rel nagyobb méretet mért, mint a javítóméret. Ezt a forgattyús-ház csatlakozó síkjából, egy általunk nem ismert méretű lemunkálással, a csapágyhelyek felfűrésével, a főtengely fémpszórásos feltöltésével és köszörülésével javították.

A tehergépkocsi 1000 km próbaút után ismét munkába állt, majd 18500 km megtételét követően ismét meghibásodott. A motor megbontása után tapasztalták, hogy a főtengely vége a 6. csapágyhelynél letört.

A szakértői vélemény a helyszíni szemlén tapasztaltak, valamint az átadott letört főtengelyvég vizsgálata alapján készült el.

1 Vizsgálatok elvégzése

A törés okának megállapítása érdekében a megbízó által rendelkezésre bocsátott adatok elemzése került elvégzésre az alábbiak szerint:

1.1. A törési felületek elemzése

A letört forgattyús tengelyvég tört felületének szemrevételezése alapján egyértelműen megállapítható, hogy a törés bekövetkezésének egyik oka a tengely anyagában ébredő feszültség ismétlődő, fárasztó jellegű időbeli lefolyása. A másik ok a feszültség nagyságának a megengedettnél nagyobb értéke.

A kifáradás, időben változó és sokszor ismétlődő igénybevétel hatására bekövetkező károsodás, amely, akkor is törést eredményezhet, ha a terhelő feszültség az anyag folyáshatára alatt van, így makroszkópos méretekben maradó alakváltozást sem eredményezhet. [1]

A hengerekben lejátszódó munkakütemek lökészerű hosszirányú hajlító és csavaró igénybevétel, illetve lengést keltenek a főtengelyben. Ha ehhez az igénybevételhez még hozzáadódik bármilyen járulékos terhelés, a tengely kifáradását, törését okozza. (Lásd: 1. ábra).



1.ábra: A letört tengelyvég tört felülete

A tört felület forgattyús tengelyen lévő tükörképe a 2. és 3. számú ábrán látható.



2.ábra: A forgattyús tengely, jobb végén a törés helye

A fáradt töret két részből, egy kagylós, barázdált és egy szemcsés ridegen tört részből áll.

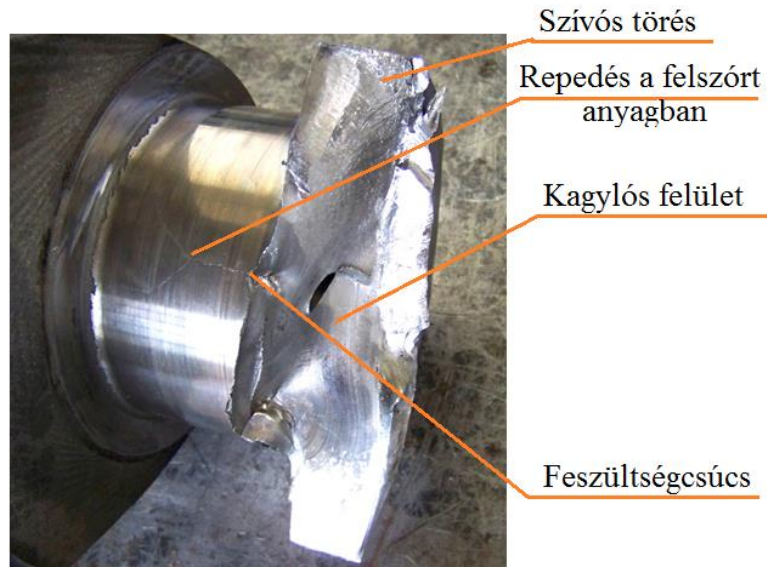
Az anyagkárosodások között a kifáradás lényeges, mert a törési káresetek kb. 70-80 %-a a kifáradással kapcsolatos. A járműveknél ez az arány több is lehet!

Az anyag kifáradása törésként jelentkezik, de a kifáradás folyamata legszorosabban a képlékeny alakváltozással kapcsolatos.

A kifáradásnál három részfolyamatot különböztethetünk meg:

- repedés keletkezés
- repedés terjedés (lassú)

- instabil repedés terjedés, törés.



3. ábra: A törött tengelyvég nagyítva

Az ismételt igénybevételnél a megengedett feszültség általában kisebb, mint a folyáshatár ($\sigma_m < R_{p0,2}$).

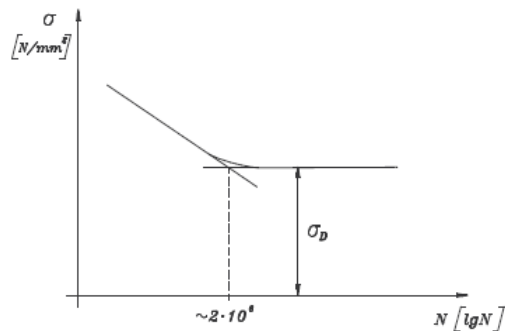
Az anyagok fárasztó igénybevétellel szembeni viselkedését a Wöhler görbével lehet jellemezni. Wöhler görbében a terhelő feszültséget a törésig elviselt ismétlések számának függvényében ábrázoljuk.

A görbe szerkezeti acélok esetében aszimptotikusan közelít egy értékhez, így a terhelő feszültség csökkentésével meghatározható egy olyan jellemző feszültség, amellyel az akár végtelen sokszor terhelhető anélkül, hogy eltörne. [2]

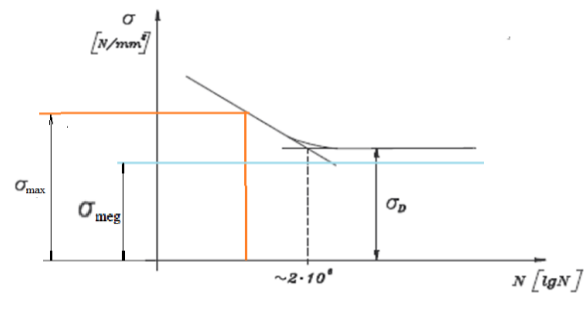
Ezt a feszültséget az acél kifáradási határának nevezzük. Jele: σ_D .

Az ábrázolás megkönnyítésére a töréshez tartozó ismétlések számát logaritmikus léptékben tüntetjük fel. A Wöhler görbe két jól elkülöníthető szakaszból áll. Az első ferde, meredeken eső szakaszt élettartam szakasznak, a vízszintes részt, pedig kifáradási szakasznak nevezzük. (Lásd: 4. ábra.)

A két egyenes acéloknál $2 \cdot 10^6$ igénybevételnél metszi egymást. Kifáradási határra kell méretezni minden olyan esetben, amikor a várható élettartam során az ismétlések száma meghaladja a 10^7 értéket pl. turbinatengely, a forgattyús-tengely. Ilyenkor adott számú ismétléshez tartozó feszültséget határozzunk meg.



4. ábra: Szerkezeti acél elvi Wöhler görbéje



5. ábra: Megnövekedett terhelés miatti feszültségnövekedés

A vizsgált forgattyús tengelyt is ilyen módszerrel méretezték.

Ha a tengely terhelése valamilyen okból megnő, akkor nagyobb feszültség ébred benne, mint a σ_D , akkor a törés egy adott terhelésszám elérését követően bekövetkezik, mint ebben az esetben is. (Lásd: 5. ábra)

A szerkezeti anyagok kifáradása nagyon sok tényezőtől függ. A befolyásoló tényezőket két nagy csoportba oszthatjuk. Ezek:

- a terheléstől, külső körülményektől függő tényezők,
- a darabtól függő tényezők.

A befolyásoló tényezők közül a leglényegesebb felület hatását emeljük ki, azért mert a fáradt törés csirája a felület. A darab felületén lévő hibák, repedések, feszültség koncentrátorok elősegítik a darab kifáradását.

De fontos megjegyezni, hogy a felületi megmunkálás hatása a nagyszilárdságú acélok esetében sokkal erőteljesebb.

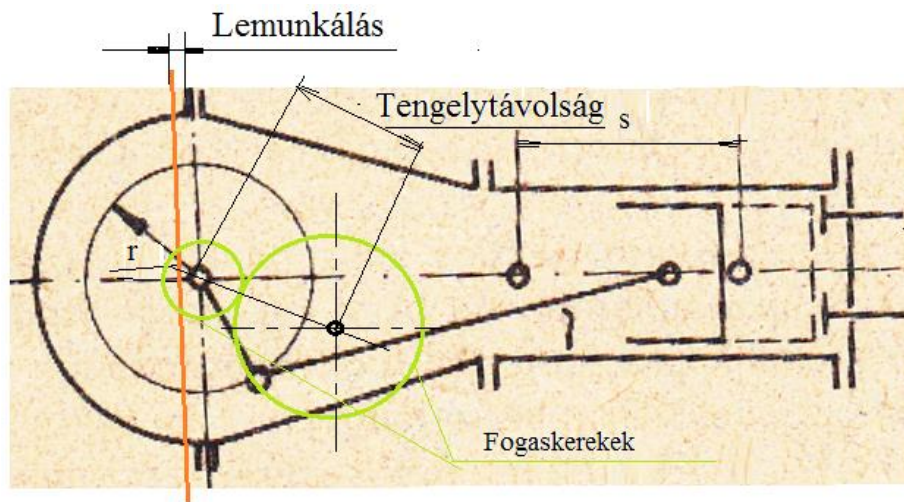
1.2. A tengely anyagában ébredő feszültség növekedésének lehetséges okai

A helyszíni szemlén a szerelők meghallgatása alapján a tengelyt érő terhelőerő és nyomaték megengedettnél nagyobb értékének kialakulása az alábbi okok miatt következhetett be:

1.2.1. A fogaskerek tengelytávolságának lecsökkenése

A második javítás során észlelte a javító cég munkatársa, hogy a 6. csapágyfészkek furata 0,12 mm-rel nagyobb, mint a javítóméret.

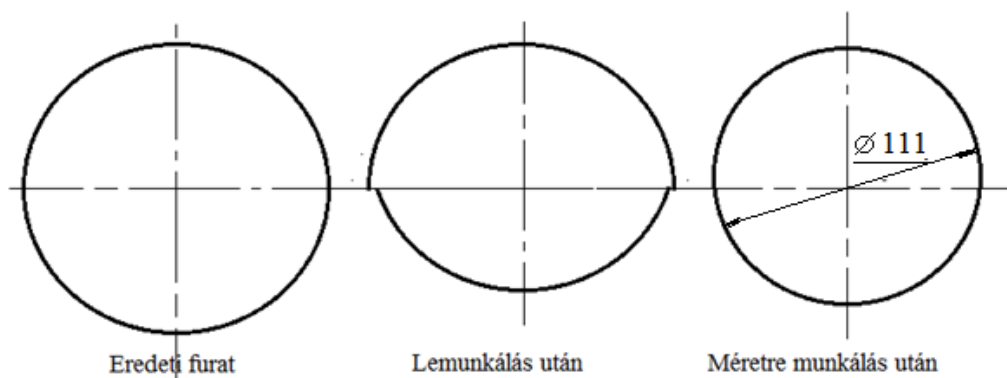
Ezt úgy hozta helyre, hogy az osztott csapágyfészek alsó részéből általunk ismeretlen mértékben lemunkált egy síkot (6. ábra).



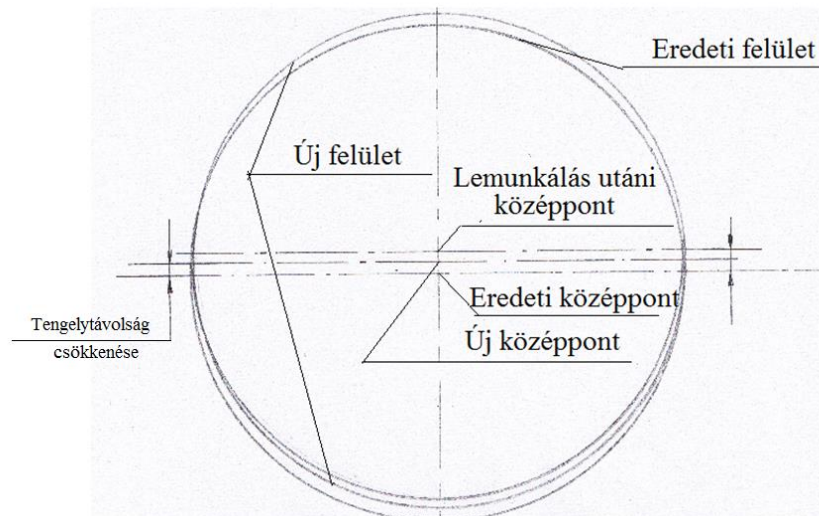
6. ábra: Lemunkálás helye

Ezt követően az összeillesztett „citrom alakú” furatokat felfűrták egy vízszintes fűrómaró gépen (horizont) (7. ábra).

A megmunkálás technológiai adatainak ismerete nélkül pontos számításokat nem tudunk végezni. Az bizonyosan látszik, hogy a fogaskerekek tengelytávolsága a fentiekben vázolt megmunkálássor után csökkent (8. ábra).



7. ábra: A felfűrés lépései



8. ábra: A tengelytáv csökkenése

A fentieket támasztja alá az, hogy a tengely végén lévő ferde fogazatú fogaskerék fogazatát átköszörülték. (A fogvastagság csökkentése érdekében.)

1.2.2. A fogaskerék hajtás vizsgálata

A ferde fogazatú fogaskerék-hajtás két fogaskerekének fogszáma $z_1=43$, $z_2=86$, áttétel $i=1:2$, fogszélesség: 39 mm, fogferdeségi szög $\beta=27^\circ$.

modul: $m=3$ mm

A modul nagyságát fogmagasság mérésével határoztuk meg.

Elemi ferde fogazás esetére kiszámítottuk a tengelytávolságot, mely 217,17 mm lett.

A szükséges foghézag μm -ben: $s_{\min}=0,15\text{mm}$, $s_{\max}=0,3\text{mm}$.

Valószínű, hogy a megmunkálások után a foghézag minimális értékénél kisebb volt.

Számított többfogmérétek (elemi fogazásra): $W_1=50,52\text{mm}$, $W_2=87,76\text{mm}$.

A mért értékek viszont: $W_1=47,49\text{mm}$, $W_2=82,20\text{mm}$.

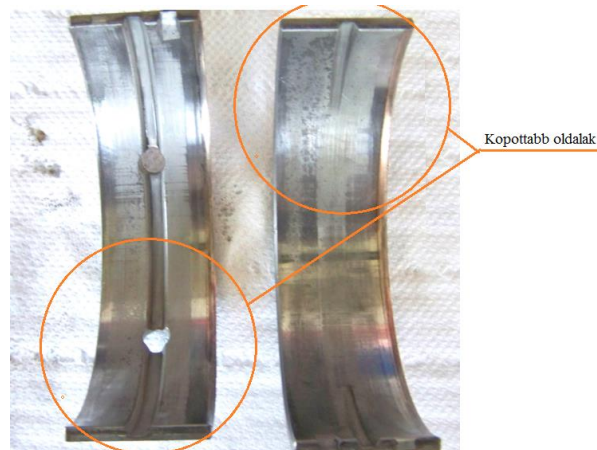
Az eltérés a kis kerék esetében 3,03 mm, a nagyobb keréknél: 5,56 mm.

Ezt az értéket hozzávetőlegesen átszámítva egy fog vastagságának csökkenésére, kb. 0,5 mm.

Ez azonban nem biztosított elegendő foghézagot, ami a tengely terhelését növelte.

1.2.3. A furatok helyzethibájának elemzése

A megbontott motorblokkban elhelyezett csapágycsészék vizsgálata alapján megállapítható, hogy a motor forgattyús tengelye nem egyenletesen koptatta a csapágycsészéket. A csapágycsészék egyenlőtlen kopása különösen a törés helyénél lévő csészénél figyelhető meg (9. ábra).



9. ábra: Kopott csapágy csésze

A fenti jelenség (egyenlőtlen kopás) oka a csapágyfuratok és a 86-os fogszámú fogaskerék tengelyeinek párhuzamosságtól való, a megengedettől nagyobb értékű eltérése.

Mivel a 86-os fogszámú fogaskerék tengelye a javítás során nem volt érintett, csak a forgattyús tengelyvonalának eltérése okozhatta a helyzethibát.

Valószínűsíthető, hogy a vízszintes fúró-maróművön (horizont) történő megmunkáláskor elkövetett beállítási hiba miatt jött létre ez az eltérés.

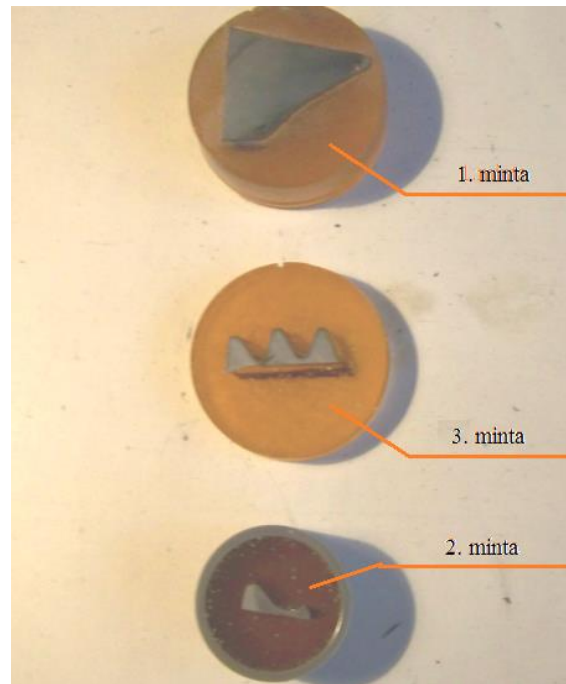
A tengely párhuzamosságtól való eltérésének megengedettől nagyobb értékére utalnak a 43-as fogszámú kerék fogain található kapcsolódási nyomok.

Ezek azt jelzik, hogy a fogfelületeknek csak egy része érintkezett a hajtott kerékkel. Ez a terület egy részén 24,4 mm, egy másik helyén 28,5 mm, más helyen 20 mm. Tehát nem egyenletes. Ennek a hatása (igénybevétel növekedés) szuperonálódott a forgattyústengely igénybevételére. Ez a tengely törésének egyik okaként nevezhető meg.

1.3. Szövetszerkezeti vizsgálat

A letört tengelyvég anyagából egy részt (1. minta), a fémporfeltöltés anyagát tartalmazó darabot (2. minta) és a fogaskerék három fogát (3. minta) sarokkösörűvel kivágtuk és a

mikro csiszolat készítés szabályai szerint (síkba munkálás, csiszolás, polírozás, savval való maratás) előkészítettük mikroszkópos vizsgálatra (10. ábra).



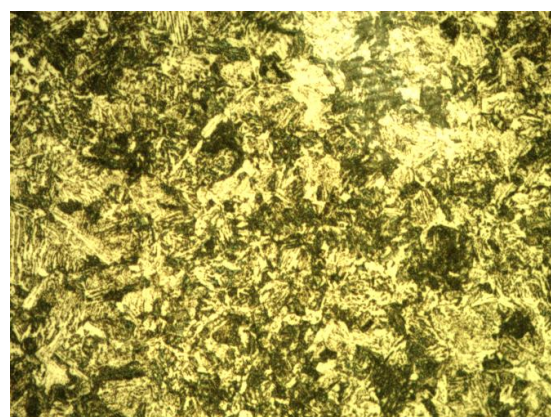
10.ábra: A vizsgálati minták

A vizsgálatok eredményét az alábbiakban foglaljuk össze:

- 1. minta makro- és mikrovizsgálata:



11. ábra: 1. minta töretfelülete



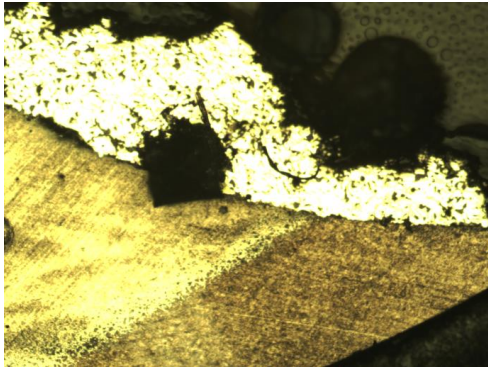
12. ábra: 1. minta szövetszerkezete (500x-os nagyítás)

Durulás nincs, törete orientációmentes, ill. követi a melegalakítás (kovácsolás)

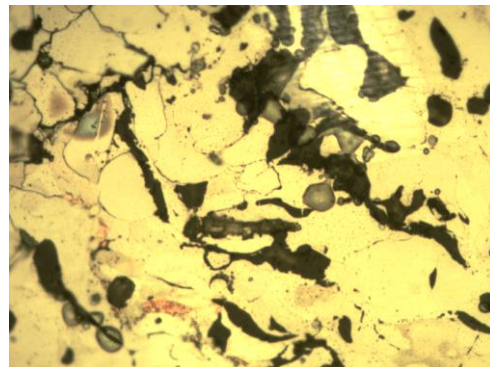
anyagáramlás irányát (11. ábra).

Hípoeutektoidos, ferrit-perlites, rendkívül finom szemcsés, jól átkovácsolt, igen jó szerkezetű acél (12. ábra). Finom, ferrit-perlites szemcseszerkezet, hibátlan struktúra. [3]

- 2. minta mikroszkópos vizsgálata



13. ábra: 2. minta, Vickers lenyomattal (100x-os nagyítás)

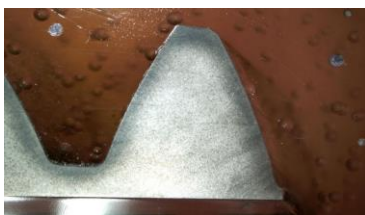


14. ábra: 2. minta, felrakott anyag, 500x-os nagyításban

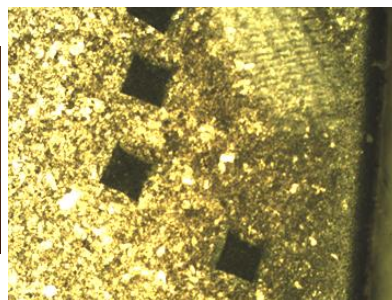
A felrakott anyag tisztán ferrites, igen lágy szövetszerkezetű (13. ábra).

A ferrites, lágy szövetszerkezetben mikroüregek láthatók (14. ábra). Ez nem tekinthető hibának, a fémporfelszórás sajátossága. [4]

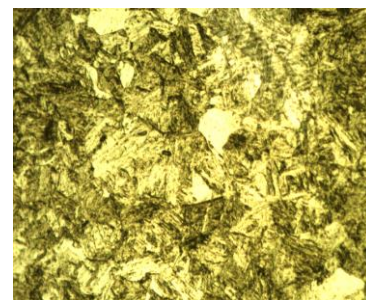
- 3. minta vizsgálata:



15. ábra: A fogfelület makroképe



16. ábra: A cementált rész átmeneti szövetszerkezet (N=100x)



17. ábra: A fogfelület szövetszerkezete 500x-os nagyításban

A fogaskerékből vett minta makroképe látható a 15. ábrán. A sötétebb sáv a cementált réteg, melynek vastagsága 0,5-0,6 mm.

Cementáláskor a cementált réteg vastagsága 1,0-1,5 mm. A cementáláskor és az azt követő edzéskor bekövetkező vetemedés miatt a működő fogfelületeket meg kell köszörülni. Emiatt a cementált réteg, szokásos vastagsága 0,8-1,0 mm. [5,6]

A vizsgált darabon mérhető kisebb cementált rétegvastagság (0,5-0,6 mm) annak a következménye, hogy a tengelytávolság csökkenése miatt átköszörülték a fogaskereket.

Ezen a részen a keménység alig nagyobb, mint a magnál. (A négyzet alakú nyomok a Vickers gyémánt lenyomatai a 16. ábrán.)

Ferrit-perlites szerkezet, cementálás után jellemző szemcseszerkezet (17. ábra).

A szemcseszerkezeti vizsgálatok során olyan hibát, ami a tengely törését okozta volna, nem találtunk.

1.4. Keménységmérés

A Keménységmérés eredménye:

Fogaskerék, fog belső: 43, 42, 42, 41, 43, HRc (HV10-ből számítva)

Cementált réteg: 54, 53, 53, 52, 52, HRc (HV10-ből számítva)

Törött darab (tengely) töretfelületen: 234, 230, 237, 235, 235 HV10

Lágy felszórás: 132, 130, 133, 130, 134, HV10

A keménységmérés eredményeit kiértékelve megállapítottuk, hogy minden érték megfelel a szakmai elvárásoknak.

2 Kiértékelés

Az általunk megvizsgált eltört forgattyústengely törésének három lehetséges okát állapítjuk meg.

1. Az egyik ok a csapágyház-felek illeszkedő síkjainak lemunkálását követő furat megmunkálásakor bekövetkező, a 43-as és 86-os fogszerű fogaskerekek tengelytávolság csökkenése. Igaz, hogy a 43-as fogszerű kereket utánköszörülték, de annak mértéke nem volt akkora, amekkora ahhoz kellett volna, hogy a 0,15-0,3 mm foghézagot lehessen tartani. A fogaskerekek helytelen kapcsolódása generált egy járulékos igénybevételt a forgattyústengely anyagában, amely hozzáadódva a motor működéséből eredő terheléshez, meghaladta a tengely anyagának megengedett feszültségét.
2. A másik ok a csapágyfuratok vízszintes fúró-marógépen (horizont) való megmunkálásakor elkövetett - a motorblokk szerszámgepen való beállításakor - hiba miatt a forgattyústengely és a 86-os fogszerű fogaskerék tengelyének

párhuzamosságtól való eltérése nagyobb volt, mint ami megfelelő. Emiatt is keletkezett egy változó nagyságú erőtöbblet, ami hozzáadódott a tengelyt terhelő erőkhöz és nyomatékokhoz. Ezek együttesen meghaladták a megengedett feszültséget és a tengely fáradásos törését okozták.

3. Az előző hibákra szuperponálódott (hozzáadódott) a fémporfelrakás anyagában keletkezett repedés, (amely egy olajozó furat közelében volt) mint a fáradásos törés kiinduló repedése. [7]

Új főtengely beszerzését követően a beszerelés előtt mindenképpen javasolt a forgattyúsház csapágy furatainak vízszintes fúró-marógépen történő ellenőrzése. Helyzethibáinak (egytengetyűségtől való eltérés), és alakhibáinak (kör-körösségtől való eltérés), valamint a 86-os fogszámú fogaskerék tengelyének és a forgattyús-tengely tengelyvonalának párhuzamosságtól való eltéréseinek vizsgálata.

Irodalom:

- [1] Csizmazia Ferencné dr.: Anyagvizsgálat II., *SZIE Műszaki TK* 1998.
- [2] Szabó József: Belső égésű motor főbb alkatrészeinek tönkremenetele és javítása (*siva.bgk.uni-obuda.hu*)
- [3] Dr Verő József, Dr Káldor Mihály: Vasötvözetek fémtana *MK. Bp.* 1971
- [4] Smoling Kálmán: Az acélok és a vas hőkezelése *MK. Bp.* 1976
- [5] Szabó József: Az ismételt igénybevétel hatása, A kifáradás jelensége (*siva.bgk.uni-obuda.hu/jegyzetek/*)
- [6] Cementálás (acél) (2013)(<https://hu.wikipedia.org/wiki/>)
- [7] Horst Blumenauer, Gerhard Pusch: Műszaki törésmechanika *MK. Bp.* 1987.

