



KISS CSABA

Okleveles, Mikó Imre díjas gépészmérnök, okleveles mérnök tanár MÁV Zrt PMKI GSZ fejlesztőmérnök BME Vasúti Járművek és Járműrendszeranalízis Tanszék mestertanár

A Henschel-BBC gyártmányú dízel-villamos mozdonyok (folytatás)

E cikksorozat korábbi részében már jeleztük, hogy a dízelmozdony erőforrása a 16-645E3B típusú dízelmotor egy 16-hengeres, kétütemű, egyenáramú öblítésű, szakaszosan mechanikus hajtással kombinált, turbófeltöltésű dízelmotor. A névleges teljesítménye 3300 HP (2462 kW), melyet a dízelmotor 900 1/min fordulatszámon ad le.

Szintén korábban már említettük, hogy a 645-jelű dízelmotorcsalád sorozatgyártására 1966.-tól került sor. Ennek a dízelmotorcsaládnak a különböző változataiból az évtizedek során mintegy 28 000 darabot gyártottak. A dízelmotorokat többfajta alkalmazási célra építették. Elsődlegesen a dízelmozdonyok számára, de többek között nagy darabszámban használták őket a hajózásban és az áramfejlesztő gépcsoportok erőforrásaiként is.

A dízelmotor típuscsalád megjelölésében szereplő nagy betű a dízelmotor forgattyúházának szerkezeti kialakítására utal. Ennek alapján építettek 645E-jelű és később a 645F-jelű dízelmotorokat növelt hengerterjesítménnyel.

A 645E jelű dízelmotorokat építették még öblítőfűvós kivitelben, azonban a 645F jelű dízelmotorokat már csak e cikk korábbi részében ismertetett levegőellátó és égéstermékkelvezető rendszerrel gyártották.

A dízelmotort gyártó GM EMD-nél a dízelmotor tervezés és fejlesztés a következő 4 alapelven nyugodott:

1. A dízelmotorcsalád kifejlesztésének időszakában Észak-Amerikában a nagyvasúti vontatásban

a dízelvontatás szinte egyeduralkodó volt. Az üzemben lévő dízelmozdonyok legnagyobb részében GM EMD fejlesztésű és gyártású dízelmotorok üzemeltek (természetesen az 567-jelű típuscsalád különböző változatai). Észak-Amerikában a dízelesítés első néhány évtizedének tapasztalataiból, valamint abból a tényből kiindulva, hogy a dízelmotor, mint a jármű erőforrása megbízhatósága döntően meghatározza a jármű megbízhatóságát és ennek köszönhetően a jármű bevétel termelő képességét. Mindezek alapján a dízelmotor fejlesztés során az abszolút elsődleges követelmény a megbízhatóság volt és maradt (a mai járműveknél is értelemszerűen a teljes járműre vetítve).

2. A dízelmotor alapvető, a felhasználás szempontjából meghatározó paraméterek folyamatos fejlesztése (teljesítőképesség fokozása, energiahatékonyság növelése és a környezetterhelési paraméterek javítása). Az előző felsorolás azt a sorrendet is mutatja, ahogy ez a szóban forgó dízelmotorcsaládnál történt. E fejlesztés során fontos tapasztalatnak bizonyult, hogy a gázolajfogyasztás csökkentése és a környezetterhelési paraméterek javítása nem eredményezi szükségképpen a dízelmotor mechanikus és termikus terheléseinek növekedését. A fejlesztések és az üzemi tapasztalatok azt is igazolták, hogy a fejlesztéssel érintett dízelmotor alkatrészek kielégítő megbízhatósága elérhető.

3. A dízelmotor alkatrészek lehető cserélhetősége a különböző dízelmotor változatok között minél szélesebb körű legyen. Elsősorban azért, hogy a továbbfejlesztett szerkezeti megoldások a korábbi gyártású dízelmotorokban is alkalmazhatóak legyenek. Ezzel a folyamatos dízelmotor fejlesztési program számára valamennyi üzemi alkalmazásból közvetlenül tapasztalatot és jelentős előnyt biztosít. Másodsorban igen tekintélyes előnyt jelent ez a gyártási folyamatok szempontjából az alkatrészek cserélhetősége illetve bizonyos mértékű „szabványosítása” tekintetében is. A dízelmotor alkatrészek gyártási folyamata nagyon sok, speciális készüléket igényel, ezért az alkatrészek minél szélesebb körű cserélhetősége a gyártósorok közel optimális leterhelését és egyenletes gyártási minőséget biztosít, mely összességében véve előnyös, mind a gyártó, mind a felhasználó szempontjából.

4. Könnyű karbantarthatóság szintén alapvető tervezési szempont, mely a tervezhető fenntartási események esetén az üzemben kívül töltött idő minimalizálja, továbbá amennyire lehet, egyszerűsíti a javítások során a szerelési folyamatokat.

Speciálisan a GM EMD-nél a dízelmotorok továbbfejlesztésénél még a következő gyakorlati alapelveket és szempontokat alkalmazták a dízelmotorok továbbfejlesztése során:

- meg kell határozni a meglévő, megbízhatóan üzemelő szerkezeti

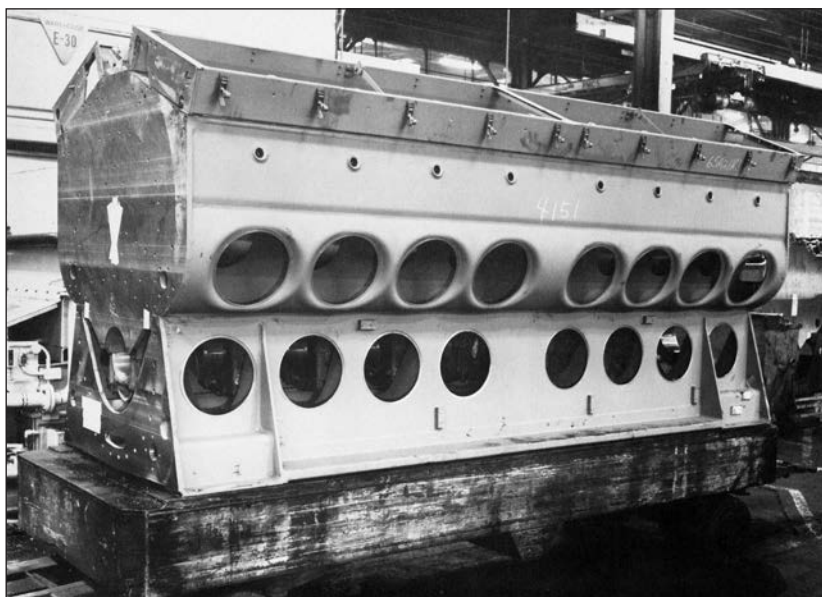
megoldásokban és a teljes dízelmotorban meglévő teljesítőképesség növelési, terhelhetőségi (nem csak a teljesítmény, hanem egyéb, belső terhelhetőségi határok (mechanikai, termikus stb.)) határokat,

- alaposan tanulmányozni kell őket, különös tekintettel a fenti 4 pontra,
- a szerkezeti kialakítás, a szerkezeti anyag és/vagy a gyártástechnológia módosításával, fejlesztésével, tökéletesítésével ezeket a terhelhetőségi határokat ki kell terjeszteni és a megbízhatóság fenntartása mellett ilyen módon lehet a dízelmotort tovább fejleszteni.

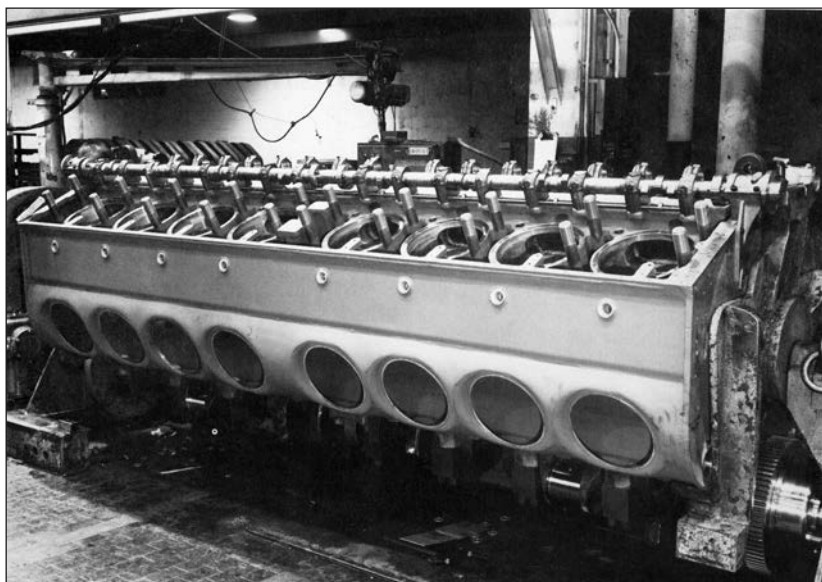
A dízelmotort tervező, fejlesztő mérnöknek a fentieken túlmenően figyelembe kellett venni az üzemeltető és fenntartó által megfogalmazott, gyakran egymásnak ellentmondó követelményeket és pedig

- két- vagy négyütemű működési elv: megjegyezzük, hogy az idők folyamán mindkét működési elvű típusból számos, a gyakorlatban jól bevált dízelmotort gyártottak. Mindkét dízelmotor típus esetében az elmúlt évtizedek során a turbófeltöltésre számos színvonalas megoldás került kialakításra, melyeknek következtében mindkét működési elv a gyakorlatban megvalósításra került és mindkét működési elv műszakilag és gazdaságilag is teljes mértékben életképesnek bizonyult;

- üzemanyagfogyasztás: egy, a vasútüzemben alkalmazott, jól kihasznált, nehézüzemű vasúti dízelmotor legfeljebb néhány év leforgása alatt a gyártási árával összevethető mennyiségű üzemanyagot fogyaszt el, melynek következtében a dízelmotor élettartamköltségének domináns része az üzemanyagfogyasztás. Ennek jelentőségét gyakorlatilag nem lehet túlhangsúlyozni, ezért ennek folyamatos javítása állandó feladat;
- dízelmotor üzemével kapcsolatos költségek: a dízelmotor életciklusával kapcsolatos költségek, illet-



1. ábra: A dízelmotor forgattyúsháza szerkezeti kész állapotban

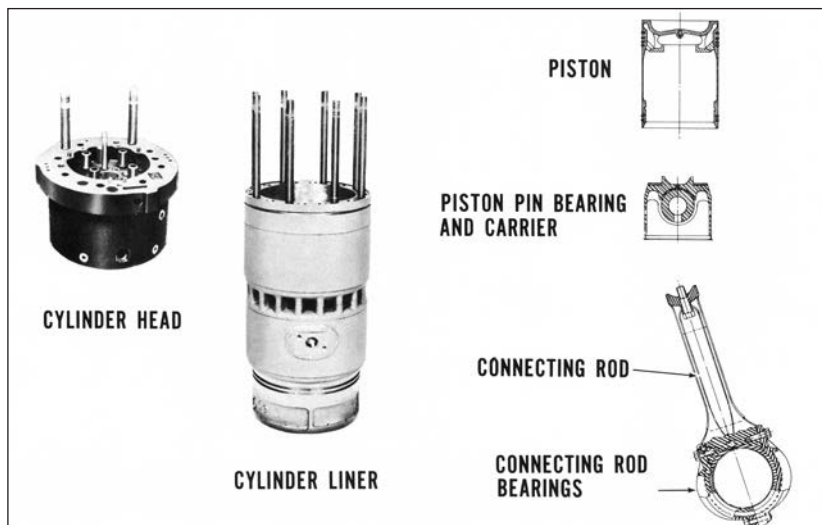


2. ábra: A dízelmotor forgattyúsháza a forgattyúsház alsó rész (olajtekő) nélkül, már beszerelt forgattyústengellyel és felszerelt vezértengellyel

ve ennek csökkentése folyamatos inspirációt jelent(ett) a dízelmotort tervező, fejlesztő számára. A gyártó szempontjából ugyanakkor igen jelentős költségterhet jelent egy dízelmotorcsalád építéséhez szükséges gyártósorhoz a készülékek megtervezése és legyártása, valamint a gyártósor felszerszámozása;

- környezetvédelemmel kapcsolatos szempontok: az ezzel kapcsolatos feladatok már az üzemanyagok és a kenőanyagok fejlesztésénél

megjelent(ik) a fejlesztésben, természetesen szoros együttműködésben az üzemanyagok, kenőanyagok és a dízelmotor fejlesztői között. A környezetvédelmi feladatoknak való megfelelés már itt elkezdődött és elkezdődik. A dízelmotorok tervezése és fejlesztése a továbbiakban a környezetvédelmi szempontoknak való megfelelés jegyében alapvetően a dízelmotor levegőellátó-, égéstermékkelvezető, üzemanyagellátó és keverékképző rendszerek



3. ábra: A dízelmotor erőkefejtő és -átadó szerkezeti elemei: a hengerfej, a hengerpersely, a kétrészes dugattyú és a villás hajtórúd

folyamatos fejlesztését jelenti az anyag- és gyártástechnológiai, motorteknikai ismeretek fejlődésére, bővülésére, valamint az üzemeltetési és fenntartási tapasztalatokra támaszkodva különös tekintettel a dízelmotorokkal kapcsolatos szabályozási környezet változásaira és a pénzügyi, gazdasági tényezőkre;

- **megbízhatóság:** ezzel kapcsolatban a gyártó és az üzemeltető a fentebb már taglalt okok folytán teljesen azonos követelményeket támaszt a dízelmotorokkal kapcsolatban;
- **karbantarthatóság:** e kérdés vonatkozásában is a gyártó és az üzemeltető közötti hosszú távú eredményes együttműködés érdekében azonos érdekeltég mutatható ki;
- **életciklus költség:** e szempont vonatkozásában is az előző ponttal hasonló megállapítások tehetőek. Itt fontos megjegyezni, hogy fontos követelmény, hogy a dízelmotor üzemben eltöltött ideje maximális legyen, ezzel egyidejűleg a fenntartási tevékenységekre fordított összes idő pedig minimális legyen. Természetesen ezek egymásnak ellentmondó követelményeket jelentenek. Az ezek közötti műszaki optimum kialakítása biztosítja, hogy a dízelmotor az életciklusa során a lehető legnagyobb

mechanikai munkát teljesítse és ezzel a jármű a lehető legtöbb üzleti eredményt biztosíthassa.

A dízelmotor főbb szerkezeti részei

A következőkben néhány érdekességet említünk meg a dízelmotor szerkezeti részleteivel és annak kialakításával kapcsolatban.

A forgattyúház

A dízelmotor forgattyúházát nagy pontosságú hegesztési eljárással gyártották, mely biztosítja a kedvező fajlagos tömeget, a szükséges szerkezeti merevséget és a kedvező hozzáférést a dízelmotor szerkezeti elemeihez.

A következő két ábra szemlélteti a dízelmotor forgattyúházát két különböző nézetben és elöl szerelési állapotban.

A dízelmotor hengeregysége, erőkefejtő és -átadó szerkezeti elemei

A dízelmotor *hengerperselye* kettős falú. A belső része jó minőségű, ötvöztött öntöttvasból készült, a külső köpenye pedig acélból készült, melyet forrasztással rögzítettek az öntöttvas részhez. A hengerpersely 18 levegő beömlőréssel rendelkezik,

melyek a sugáriránnyal 15°-os belépési szöveget zárnak be.

Az idők folyamán az üzemi tapasztalatok alapján elkezdtek a hengerpersely belső felületének lézersugárral történő keményítését. Azért erre a módszerre esett a gyártó választása, mert jól szabályozható és nem okozza a hengerpersely belső furatának torzulását. Ezzel a módszerrel kedvezőtlen üzemeltetési körülmények esetén is kiváló berágódással szembeni ellenállást sikerült elérni a hengerperselyek síkló felületén.

A *hengerpersely és a hengerfej közötti tömítést* is jelentősen továbbfejlesztették. A rézzel futtatott lágy acél anyagból készült tömítésen a hűtővíz átvezető furatoknál szilikon gumiból készült tömítő karika, melyet egy teflonból készült kis hüvely vesz körül, biztosítja a víztömör kialakítást. A teflon hatékonyan csökkenti a szilikon gumi hőmérsékletét és egy második víztömítést is biztosít.

A dízelmotor *hengerfeje* nagy szilárdságú ötvöztött öntöttvasból készült, melynek belső szerkezeti kialakítását jelentősen módosították a korábbi dízelmotorváltozatokéhoz képest számottevően nagyobb hengerterjesztés miatt. A kétütemű, egyenáramú öblítésű dízelmotor hengerfejének előnyös tulajdonsága, hogy a termikus igénybevételek szempontjából szimmetrikus szerkezetű lehet, mivel a hengerfejben csak kipufogószelepek vannak. A kipufogószelepek a 645-ös dízelmotorcsaládnál Inconel X751 jelű szerkezeti anyagból készültek, mely egy kiváló minőségű, nikkel-alapú, hőálló ötvözet. A kipufogó szelepeknél nem kellett alkalmazni szelep ülés betéteket.

A dízelmotor *dugattyúja* kétrészes szerkezeti kialakítású. A dugattyútető öntöttvasból, míg a dugattyútartó a nagy terhelés miatt már kovácsolt acélból készült. A dugattyú szerkezet szimmetrikus kialakítású és a kétütemű működési elvből adódóan a dugattyúcsap szeg megtámasztás szerkezeti kialakítása tekintetében kevesebb követelményeket támaszt, mint a hasonló négyütemű motor

esetében. A konstrukció lehetővé teszi üzem közben a dugattyúpalást szabad elforgását a tengelye körül, mely egyenletes kopást biztosít és ezzel növeli a dugattyú élettartamát. A dugattyú belső hűtése és a dugattyúcsapszeg kenése a forgattyúház alján lévő csőből pipaszerűen kialakított kenőcsőn keresztül történik. A dugattyún gömbsgrafitos öntöttvasból, rozsdamentes acélból készült krómozott és percgűrűket is alkalmaznak.

A hajtórudakat kovácsolással gyártották erősen ötvöztött acélból a nagy igénybevételnek megfelelően. A V-hengerelrendezésű dízelmotornál megtartották a korábbi változatoknál alkalmazott villás és közrefogott hajtórúd elrendezést.

A dízelmotor forgattyústengelyét süllyesztékes kovácsolással gyártották és a 16, illetve a 20-hengeres dízelmotoroknál két részből áll a forgattyústengely, melyet középen egy tengelykapcsoló köt össze. Gyakorlatilag az 567 sorozatú dízelmotornál alkalmazott főtengety megtartották, mert az ébredő feszültség szintek még a forgattyústengely terhelhetőségi határain belül vannak. A 20-hengeres dízelmotorhoz természetesen új forgattyústengelyt kellett kifejleszteni.

A dízelmotor nagynyomású befecskendező rendszere

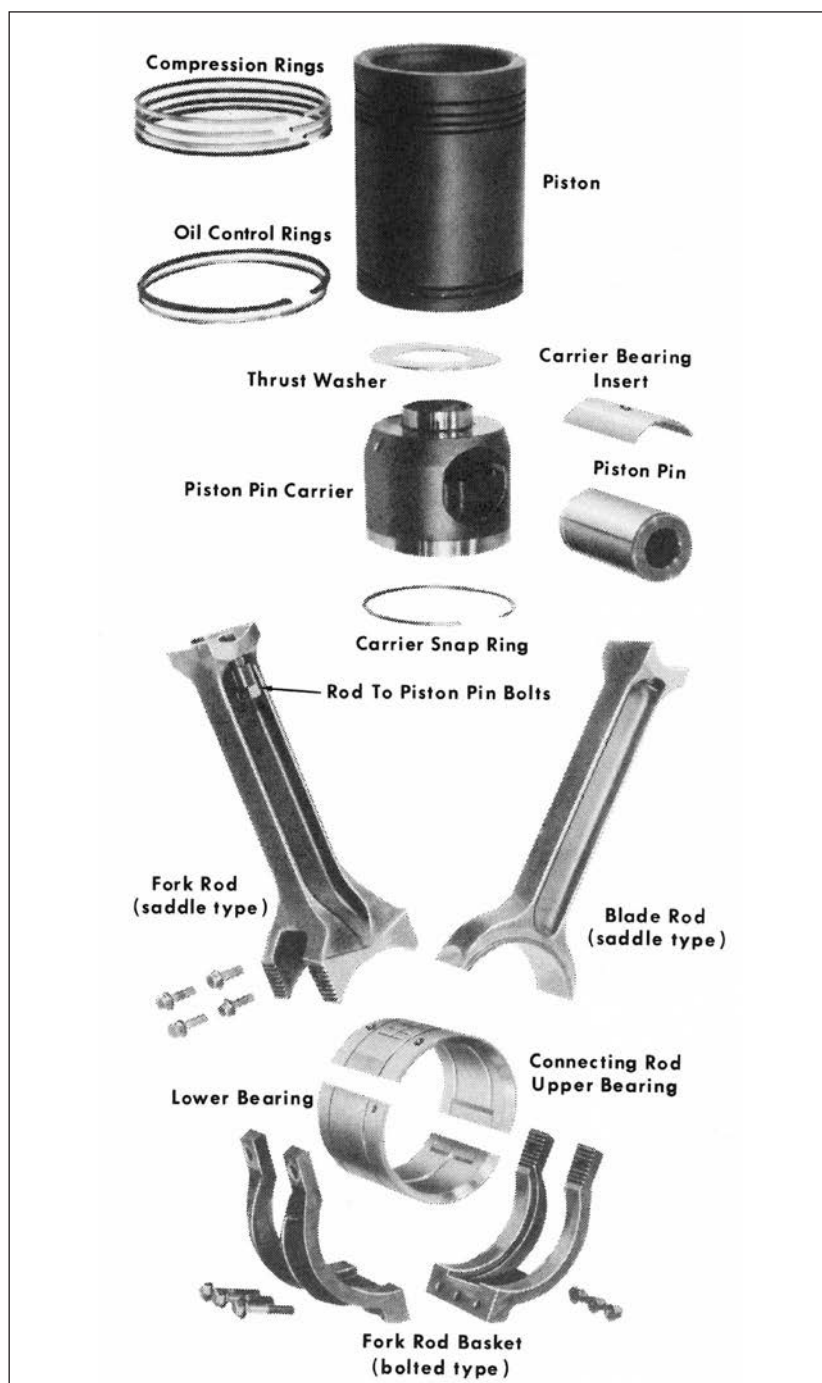
A dízelmotor injektorjánál a jól bevált, megbízható és tartós, az 567D jelű dízelmotoroknál alkalmazott szerkezeti kialakítás kissé módosított változatát alkalmazták.

Az injektornál elérhető maximális befecskendezési nyomás mintegy 1100 bar, 900 1/min fordulatszámon és 9,7 bar effektív középnyomás mellett. Az injektor befecskendező csúcs rendkívül tartós szerkezeti kialakítású, így a megvalósítható nagy befecskendezési nyomás lehetővé tette a kis összes befecskendező furat keresztmetszet alkalmazását. A turbófeltöltött 645E3 (később 645E3A, 645E3B stb.) típusjelű dízelmotoroknál a befecskendező furat átmérője 0,343 mm, a hossza

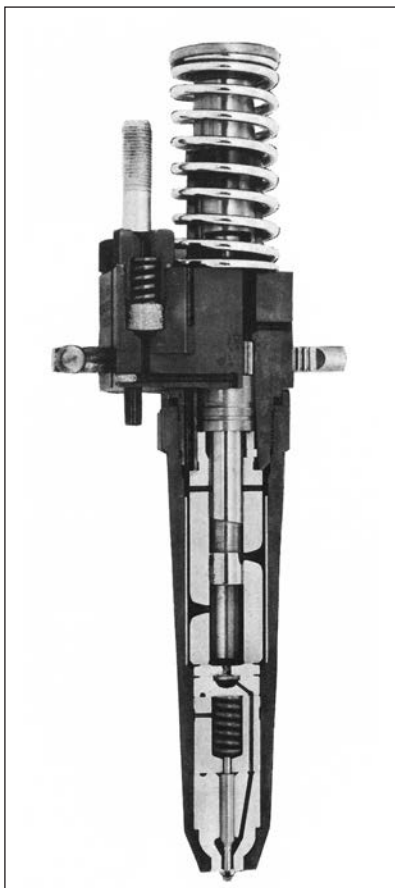
pedig 1,143 mm. A kis befecskendező furat összes keresztmetszet kis túszelep ülés átmérőt tett lehetővé. A befecskendező furatok által bezárt szög 160°. A befecskendező furatok felülete keményített, hogy biztosítsa a kiváló élettartamot és a folyamatos, jó minőségű porlasztást.

A kis befecskendező furat átmérő lehetővé tette a kis túszelep ülés át-

mérőt, mely lehetőséget adott a 2:1 arányú túszelepszár-túszelepülés át-mérő kialakításához. Így a túszelep névleges nyitó nyomása 3000 psi (≈ 207 bar), a névleges záró nyomása pedig 2250 psi (≈ 155 bar) értékű. Ez a viszonylag nagy záró nyomás biztosítja, hogy a porlasztás minősége kielégítő legyen minden befecskendezés végéig.



4. ábra: A teljes forgattyús mechanizmus robbantott ábrája



5. ábra: A dízelmotor befecskendezője

A túszelep jól vezetett, a vezetett hossza 4-szerese a túszelep átmérőjének. Ez, valamint a túszelep kis tehetetlensége és a kis túszelep emelkedés (0,28-0,38 mm) kiváló illeszkedési viszonyokat eredményezett a túszelep ülésén, amely hosszú élettartamot biztosít.

A túszelep rugót króm-vanádium acélból gyártották és nem használtak alátéteket a nyitási nyomás beállítására. Ez tudatos volt, mivel a túszelep nyitási nyomása viszonylag szűk, kielégítő tartományban tartható az injektor alkatrészek méreteinek szigorú ellenőrzésével, azzal a ténnyel kiegészítve, hogy az injektor üzemanyag szállítását viszonylag kevésbé befolyásolja a túszelep nyitási nyomásának jelentős változása.

Sőt, a kis belső üzemanyag térfogat és a kis távolság a befecskendező dugattyú és a befecskendező furatok között gyors befecskendezési nyomásnövekedést eredményez, ezzel a

befecskendezési késedelem viszonylag érzéketlen a túszelep nyitási nyomására.

Meg kell jegyezni, hogy a befecskendező csúcs ebben az injektorban nem igényel külső hűtőközeget, a rajta átáramló üzemanyag elegendő hűtőhatást fejt ki. A befecskendező csúcs üzem hőmérséklete és a kiáramló üzemanyag sebessége olyan, hogy a befecskendező furatok eltömődése a termikusan felhasadt vagy részben oxidálódott üzemanyag részek miatt gyakorlatilag nem lép fel.

A gyakorlati tapasztalatok a kezdetektől azt mutatták, hogy megfelelően szűrt, megfelelő minőségű gázolajjal történő üzem esetén az injektor kiváló megbízhatóságúnak és tartósságúnak bizonyult, gyakorlatilag egészen minimális karbantartási igény mellett.

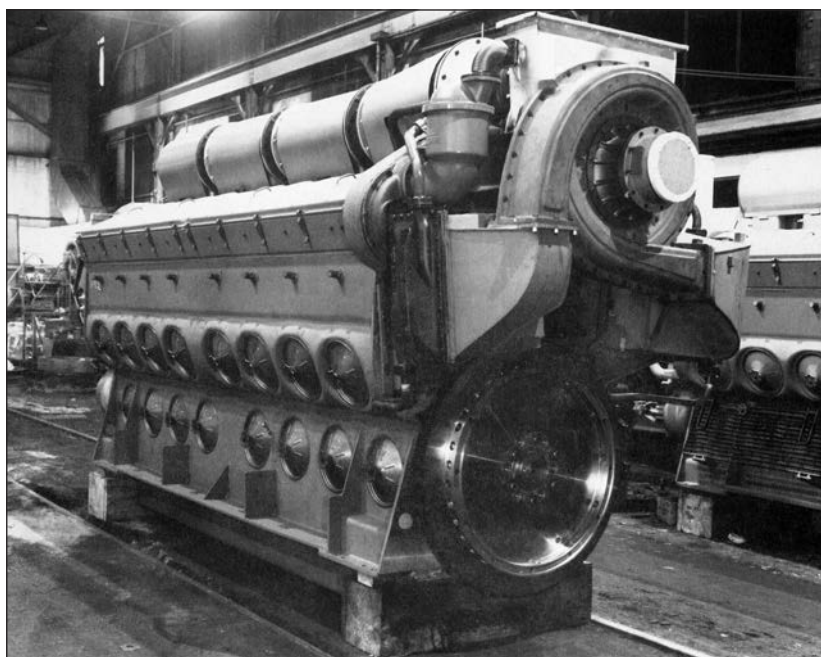
A kezdeti időkben a befecskendező csúcsot cserélték, amikor a befecskendező csúcs furatának kopása, megnövekedése elérte a meghatározott üzemben tarthatósági határértéket. 1969. előtt a befecskendező csúcs furatokat fúrással alakították ki. Azt követően azonban a gyártó az ún. elektrosztatikus kisütéses megmunkálást alkalmazta. Ezzel a

befecskendező csúcsok furatai meghatározott tűréseit a korábbi értékek felére tudták csökkenteni. A tapasztalatok alapján az ilyen módszerrel tisztább furatokat, simább felületeket lehetett kialakítani, mellyel a befecskendező csúcs élettartamának megnövelése is lehetővé vált.

Ezen túlmenően még a befecskendező csúcs zsák térfogatának 53%-kal történő csökkentésére került sor (túszelep ülés és a befecskendező csúcs furatok közötti térfogat) az 1970-es évek közepén. Ezt a szerkezeti kialakítást használták már a mozdony 16-645E3B típusú dízelmotorján és a még üzemben lévő 567-típusjelű dízelmotorokon is.

Összességében véve rögzíthetjük, hogy a dízelmotor injektora egy rendkívül megbízható és tartós szerkezetnek bizonyult.

A fentiek alapján rögzíthetjük, hogy a jármű dízelmotorja a szívós, éveken át tartó fejlesztések nyomán egy rendkívül megbízható, tartós és kedvező üzemanyagfogyasztású, minden idők egyik legsikeresebb, kimondottan vasútüzemre alkalmas erőforrássá vált, melyből számos üzemel még a világ vasútjain is.



6. ábra: Az átadásra kész dízelmotor