

Griffith és a rideg anyagok repedése

Griffith élete

Alan Arnold Griffith 1893. június 13-án született Angliában¹. A Nyugat-angliai iparvidéken nőtt fel, így nem túlzottan meglepő, hogy fiatal kora óta vonzotta a gépek világa és a velük kapcsolatos számítások szigorú rendje. Középiskoláit, majd egyetemi tanulmányait is *Liverpoolban* végezte, az itteni egyetemen szerzett gépészmérnöki diplomát 1915-ben.



Az akkori idők egyik legdinamikusabban fejlődő iparága, a repülőgépgyártás² lett életének alapvető meghatározója. Az egyetem befejezése után azonnal gyakornoki állást kapott a Királyi Légierő liverpooli gyárában. A tehetséges fiatalemberre hamar felfigyeltek felettesei, így 1916-ban már a Légierő dél-angliai támaszpontján, *Farnborough*³-ban kapott állást, az akkoriban ott létrehozott, kiemelt támogatású repülésügyi kutatóintézet „*Physics and Instruments*” elnevezésű⁴ részlegénél. Több mint egy évtizedig ez volt a munkahelye, aztán a húszas évek végén rövid időre tudományos tanácsadói állást vállalt a Légügyi Minisztérium *South Kensingtonban* létrehozott laboratóriumában. 1931-ban visszatért a légierőhöz, folytatta korábbi kutatói-fejlesztői munkáját. 1938-ban kinevezték a *Motorfejlesztési Intézet* vezetőjének, de már csak egy évig dolgozott a katonaságnál, 1939-ben elfogadta a *Rolls-Royce cég* meghívását, náluk vállalt fejlesztői állást. Huszonegy évig, 1960-ban bekövetkezett nyugdíjba vonulásáig maradt itt. Három év múlva, hetvenéves korában hunyt el Londonban.

Tudományos munkásságának fontosabb adatai

Griffith alapvetően motortervezőnek tekintette magát, egész életében különböző típusú repülőgépmotorok létrehozásával és fejlesztésével foglalkozott. Minden más kutatási tevékenységére úgy tekintett, mint a motorok tervezéséhez kapcsolódó kiegészítő feladatára, annak ellenére, hogy már élete során igazából ezek az – általa „melléktermékek” tekintett – munkák tették nemzetközileg igazán ismertté nevét.

Első jelentős publikációja 1917-ben született, *Taylor*⁵-ral közösen írt tanulmányukban szappanhabok kísérleti modellezésekben való felhasználására dolgoztak ki javaslatot. A terhelt szerkezeti elemre felvitt szappanhabok felületén létrejövő különböző színű sávok kapcsolatba hozhatók az eredeti szerkezet feszültségeloszlásával, így a Griffith és *Taylor* által

¹ Sajnos születésének pontos helyszínéről és szűkebb családjáról nem sikerült adatokat szerezniem.

² Érdekes, hogy a kor egy másik nagy tudós egyénisége, *von Mises* is hasonlóan érdeklődött a repülőgépgyártás iránt (lásd a róla írt életrajzot).

³ 1916-ban még csak nyolc éve volt, hogy felszállt Angliában az első repülőgép, de a fejlődés – részben a háborús helyzet hatására – rohamos léptekkel haladt az akkori években.

⁴ Az intézet *Royal Aircraft Establishment* néven ma is létezik, mai feladatai közül a repülőgép-hajtóművekkel kapcsolatos kutatások a legismertebbek.

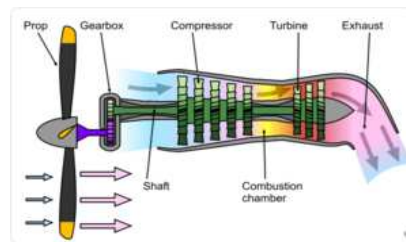
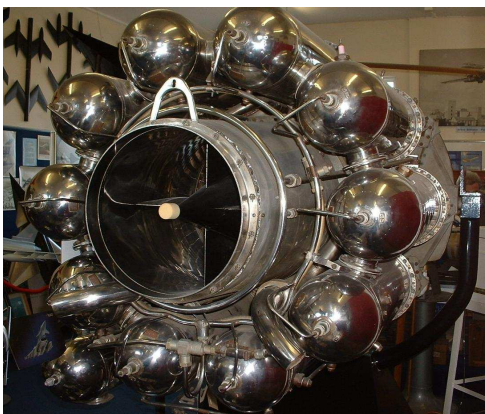
⁵ *Sir Geoffrey Ingram Taylor* (1886 – 1975) kiváló angol fizikus és matematikus. Áramlástannal és hullámelmélettel foglalkozott.

kidolgozott kísérleti módszer kiváló eszköze bonyolult szerkezetek mechanikai vizsgálatának. Éppen ezért egészen a huszadik század kilencvenes éveig világszerte használt eszköze volt a kísérleti mechanikának, csak akkor kezdte háttérbe szorítani a végeselemes numerikus technika széleskörű elterjedése.

Néhány év múlva – 1921-ben – jelent meg Griffith azon híres publikációja⁶, ami a mai napig őrzi nevét a mechanikában, mindenekelőtt a törésmechanikával foglalkozók között. Fontossága miatt ezzel külön pontban foglalkozunk.

A húszas évektől kezdve kizárólag a repülőgépmotorok fejlesztésére koncentrált. Azok közé tartozott, akik nagyon korán felismerték a hagyományos dugattyús repülőgép-motorokat felváltani képes új sugárhajtóműves technika jelentőségét. Újabb és újabb elméleti számítások⁷, és az ezek alapján létrehozott kísérleti modellek létrehozása jellemzi életének a húszas évek közepétől egészen a hatvanas évekig terjedő szakaszát.

Érdekes volt a kapcsolata a kor másik – még nála is híresebb és elismertebb – zseniális motortervezőjével, *Frank Whittle*⁸-al. A hadügyminisztérium többször felkérte Griffith-t, hogy véleményezze *Whittle* terveit, és Griffith véleménye – különösen a húszas években – nem volt mindig kedvező az ötöle eltérő elvek alapján sugárhajtóműveket tervező *Whittle* munkásságáról. Az évek során azonban belátta, hogy kollégájának többnyire igaza volt, és valóban, az első igazán sikeres angol sugárhajtómű a harmincas években éppen *Whittle* tervei alapján épült meg, lásd baloldali képet.



⁶ A. A. Griffith: The phenomena of rupture and flow in solids, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 1921

⁷ Híres elméleti cikke erről a témáról az 1926-ban megjelent „*An Aerodynamic Theory of Turbine Design*” (Phil. Trans. of Royal Society of London).

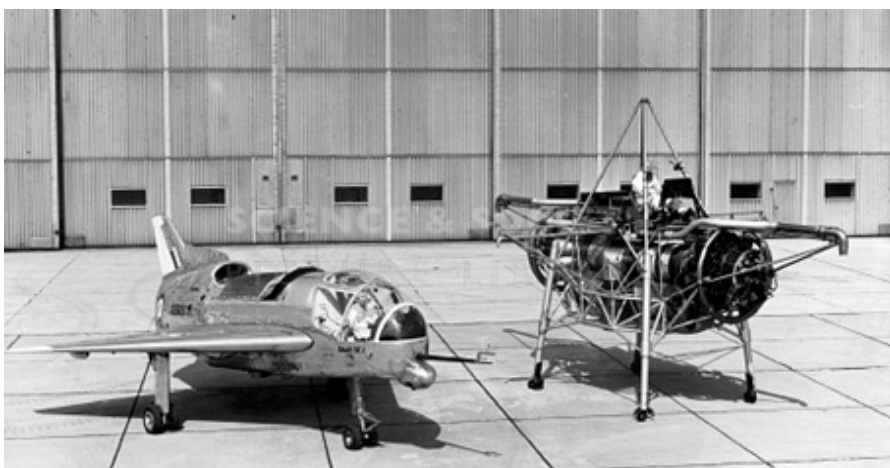
⁸ *Sir Frank Whittle* (1907 – 1996) angol tudós, a sugárhajtóműves repülőgépmotorok kifejlesztésének egyik legkiválóbb kutatója. Az 1940-es évek végén Amerikába költözött és ott dolgozott élete végéig. Megjegyezzük, hogy tőle függetlenül a német *Hans Joachim Pabst von Ohain* (1911 – 1998) szintén kidolgozta ennek a technikának az elméletét és gyakorlati alkalmazását (például az első Heinkel típusú gépek motorjait ő tervezte). *Whittle* és *Ohain* a II. világháború után találkoztak és halálukig jó barátságban voltak egymással.

Whittle egyébként átvette és továbbfejlesztette a magyar *Jendrassik Györgynek*⁹ és *Varga László*¹⁰ nak a *Ganz*-gyárban kifejlesztett modelljét is. Jendrassikék a klasszikus légcsavaros megoldást kombinálták a sugárhajtóműves gondolat adta előnyökkel: így született meg a turbópropelleres meghajtás elve. Whittle ilyen rendszerű *TPE-331* sorszámú modellje látható a fenti képen jobboldalt alul (felette a modell elvi vázlata).

Bár a turbinatervezés terén végzett elméleti munkásságát kollégái is elismerték, de Griffith gyakorlatban is megépült első igazán sikeres hajtóműve csak a negyvenes évek végére készült el, már nem a légierő, hanem a *Rolls-Royce* cég számára. Ez az *AJ.65* néven ismert motor látható a következő képen.



Ezt követően – élete végéig a Rolls-Royce-nál maradva – főleg a változtatható irányú hajtóművek problémáival foglalkozott. Ő volt az elméleti kidolgozója a helyből felszálló vadászgépekhez alkalmazható motoroknak. Az első sikeres próbarepülést a *Rolls-Royce Thrust Measuring Ring*-nek nevezett modellel 1953 júliusában hajtották végre. Az alsó baloldali képen jobbra az eredeti motor kísérleti példánya látható, mellette az a tesztrepülőgép, amelybe végül a hajtómű „kidolgozott” változatát beépítették. A jobboldali képen pedig (modern példaként) az angol légierőnél rendszeresített *Harrier-típusú* vadászgép ereszkedik le függőlegesen egy repülőgép-anyahajó fedélzetére.



⁹ *Jendrassik György* (1898 – 1954) kiváló magyar gépészmérnök, a gázturbinák és dízelmotorok fejlesztésének szakértője. Sajnos *Jendrassik* találmányának részletes kidolgozásával a *Ganz*-gyár 1941-ben leállt.

¹⁰ Kiváló magyar repülőgéptervező, az *Aerotechnikai Intézet* munkatársaként sokféle új típus kidolgozása fűződik a nevéhez. Ezek nagy része csak prototípusként létezett, sorozatgyártásukra nem került sor.

A rideg anyagok repedésének vizsgálata

A szilárdságtan elméleti kutatása szempontjából Griffith már előbb említett cikke az igazán fontos. Jelentőségének megértéséhez tudnunk kell, hogy a XX. század elejének mérnökei akkoriban nem rendelkeztek megfelelő modellel a különböző fémszerkezetekben levő repedések és lyukak környezetében keletkező feszültségek és alakváltozások jellemzésére. Ez a tény a gyakorlati tervezéseknél sajnos nagyon sokszor komoly hibákat okozott, katasztrófák tömegét idézve elő a vasúti közlekedésben, a fémtestű hajóknál, az acélhidaknál és még számos más helyen, ahol fémszerkezeteket alkalmaztak.

1909-ben egy *Koloszov*¹¹ nevű orosz matematikus, majd néhány évvel később tanítványa, a grúz *Muszhelisvili*¹² ugyan nyilvánosságra hozták az első matematikai megoldásokat egy elliptikus alakú lyukkal gyengített, végtelen méretű tárcsa komplex feszültségfüggvényekkel történő megoldásáról, és vizsgálataikat mindjárt többféle külső terhelési típusra is megismételték, de modelljük – annak bonyolultsága miatt – elsősorban csak a komoly matematikai képzettséggel rendelkező mérnökök körében vált ismertté.

Griffith a húszas években a rideg anyagok törésének vizsgálatára egy elvileg egyszerűbb módszert ajánlott. A repedés épen maradásának illetve gyors továbbterjedésének határhelyzetét kívánta megállapítani úgy, hogy a külső terhelés kritikus értékét tette meg számítandó paraméternek, vagyis így lényegében egy stabilitásvizsgálati kérdéssé alakította át a feladatot. A stabilitási problémát a vizsgált szerkezet energiaviszonyainak elemzésével oldotta meg. Feltételezte, hogy az anyag *lineárisan rugalmas-tökéletesen rideg* viselkedésű és így a határállapot energiaviszonyai a

$$\Delta\Pi = \Delta(W + U) + S \Rightarrow \frac{d}{da}(\Delta W + \Delta U + S) \leq 0$$

egyszerű határfeltétellel írható le, ahol W a külső hatások energiája, U a belső potenciális energia, S pedig a repedésfelület megnöveléséhez szükséges, atomfizikai alapon számítható energia. Az a hosszúságú repedés nagyobbodását jelzi az energia változására felírt jobboldali feltétel, ebből számítható a keresett kritikus terhelés.

A modell tényleges feladatokra való alkalmazásánál komoly gondot jelent az energiafüggvényekben szereplő feszültség- és alakváltozás-mező függvényeinek felvétele. Csak akkor várható érdemi megoldás, ha reális közelítést alkalmazunk ezekre, például a *Koloszov-féle* komplex függvényes analízissel meghatározott feszültségek és alakváltozások felhasználásával. Griffithnek ennek a behelyettesítésnek az alkalmazásával valóban *sikerült megadnia* egy elliptikus lyukkal gyengített, a végtelenben húzó feszültséggel terhelt tárcsa esetére a kritikus terhelő feszültség értékét.

Tudománytörténeti érdekesség, hogy az első – a mérnökök körében gyorsan ismertté vált – levezetése pontatlan volt, ezt a laborokban végrehajtott mérések egyértelműen igazolták. Három év múlva egy újabb cikkében már *a ma is használt pontos eredményt közölte*, de sohasem részletezte, hogy mit módosított számításaiban... Megjegyezzük, hogy egy angol kutató, *G. C. Sih* elemezte ezt a kérdést több mint negyven évvel később, részletes

¹¹ *Jurij Vasziljevics Koloszov* (1867 – 1936) orosz matematikus, a komplex függvények mechanikai alkalmazásának úttörője.

¹² *Nikoloz Muszhelisvili* (1891 – 1976) grúz matematikus, *Koloszov* munkásságának folytatója és továbbfejlesztője. *Koloszov* és *Muszhelisvili* életéről részletesebb adatok olvashatók a tanszéki honlapon elhelyezett életrajzban.

tanulmányában¹³ mind az eredeti, mind pedig az – általa feltételezett – módosított megoldás részleteit gondosan bemutatva.

Griffith levezetése igen nagy hatással volt a repedésekkel és törésekkel kapcsolatba kerülő szerkezettervezők gondolkodásmódjára. Modellje olyan közismertté vált, hogy a mérnökök közül még ma is sokan *Griffith-repedésnek* hívják a rideg anyagokban található vékony, éles bemetszéseket, illetve törésvonalakat. Az általa használt paraméterekre hivatkozva az amerikai *G. R. Irwin*¹⁴ a század hatvanas éveiben vezette be a törésmechanika egyik leggyakrabban és leghatékonyabban használható paraméterét, a *G*-vel jelölt, úgynevezett „*energiaelnyelési paramétert*”.

Annak ellenére, hogy saját maga ezt a munkáját soha nem sorolta jelentősebb alkotásai közé, modelljét ma a világ minden műszaki egyetemén tanítják, és a törésmechanikával foglalkozó mérnökök ezért a publikációjáért még akkor is emlékezni fognak rá, amikor Griffith minden más műve már csak legfeljebb a lexikonok legapróbb betűs kommentárjai között szerepel.

Felhasznált irodalom:

- 1./ **Timoshenko, S. P.:** History of Strength of Materials, *McGraw-Hill*, 1953.
- 2./ http://en.wikipedia.org/wiki/Alan_Arnold_Griffith

¹³ *Sih, G. C. :* On the Griffith energy criterion for brittle fracture, *Int. J. Solids and Structures*, 1967, Vol. 3, pp. 1-22.

¹⁴ *George Rankine Irwin* (1907 – 1998) kiváló amerikai mérnök, a modern törésmechanika egyik megalapítója, a gyakorlati alkalmazásra felhasználható modellek első úttörője.