

Gli obiettivi principali del progetto della macchina elicottero sono genericamente riassumibili nel potenziamento delle prestazioni, delle capacità operative, dell'affidabilità e sopravvivenza del sistema, e nella riduzione di peso, di vibrazioni e rumore interno. Il tutto tenendo naturalmente conto della necessità di contenere il costo di produzione, ma soprattutto ridurre le spese di funzionamento (diminuzione della frequenza delle ispezioni, delle revisioni).

Il raggiungimento di tali traguardi risulta strettamente collegato al più appropriato uso e combinazione di materiali e tecnologie diverse in funzione delle specifiche esigenze operative di ciascun assieme e sottoassieme.

L'impiego di titanio e sue leghe in elicotteristica e nel settore aerospaziale in genere risulta particolarmente significativo come chiaramente visibile dalla tendenza del grafico di fig. 1.

Le motivazioni che rendono tale materiale particolarmente interessante per il settore aerospaziale dipendono dalla buona resistenza specifica, rigidità, resistenza in temperatura e resistenza a corrosione.

Sistema elicottero

In modo schematico il sistema elicottero può essere scomposto in sei aree principali:

- l'area motori;
- l'area rotorì;
- l'area trasmissioni;

- l'area impianti;
- la cellula;
- l'avionica.

Area motori

E' generalmente conosciuto e scontato l'impiego del titanio e sue leghe nell'area motori.

Gli impianti propulsivi rappresentano per l'Agusta, come per le altre ditte elicotteristiche, componenti d'acquisto, per cui le problematiche di adeguamento tecnologico/funzionale non sono direttamente gestite dalle stesse, ma determinate sostanzialmente dai meccanismi di competitività e di mercato tra le ditte costruttrici di tali parti.

In tab. 1 sono indicate leghe di titanio utilizzate da alcune ditte motoristiche ed in tab. 2 ne sono riportate le caratteristiche resistenziali tipiche.

In fig. 2 è indicato il periodo di sviluppo di ogni lega in correlazione con la temperatura ottimale di esercizio.

In fig. 3 è mostrato un componente tipico, pala per turbina ottenuta per stampaggio di precisione.

Nella realizzazione di componenti in titanio è frequente l'utilizzo di nuove tecnologie tipo diffusion bonding-formatura superplastica, microfusione e anche stampaggio di precisione, in funzione di una riduzione dei costi complessivi di fabbricazione.

L'esempio seguente (fig. 4) mostra una paratia antifiamma di un elicottero anti carro realizzata con processo di formatura superplastica.

La versione originale era ottenuta da assemblaggio di 43 pezzi con oltre 700 chiodature.

La nuova versione superformata presenta un risparmio di peso del 10% e quasi un 30% di riduzione dei costi.

Nella figura 5 è mostrato il risultato di una sperimentazione condotta con l'Università di Bologna per la formatura superplastica in titanio, di un'ordinata supporto rinvio conico del rotore di coda di un elicottero Agusta.

Meno conosciuto è forse l'impiego strutturale delle leghe di titanio in elicotteristica. Nonostante il più o meno recente sviluppo di diverse leghe ad elevata resistenza, la pressoché totalità dei pezzi di titanio attualmente impiegati sono ottenuti nella vecchia e consolidata lega Ti 6Al 4V.

Ciò principalmente a causa delle acquisite precedenti esperienze di progetto, della vasta conoscenza circa i prodotti semilavorati, della disponibilità multinazionale.

L'introduzione di una nuova lega in prodotti aeronautici sconta poi un'inevitabile inerzia legata alle necessità di assodare:

- la variabilità delle proprietà del materiale base
- la variabilità che può risultare dai processi di fabbricazione
- la rilevabilità di tali variazioni con tecniche di controllo consolidate
- il comportamento del materiale quando soggetto ad un uso prolungato alle condizioni operative previste.

La struttura portante di un elicottero è scomposta nella fig.6. I pesi ed i costi relativi, per un elicottero medio-pesante (10-15 T. peso totale) sono così suddivisi (tab. 3).

Area rotorii

L'uso di titanio con funzione strutturale si è particolarmente affermato nell'area rotorii dove la combinazione di resistenza a fatica e rigidità delle leghe di titanio spesso si sposa con i requisiti di progetto, legati anche a vincoli di configurazioni obbligate.

In fig. 7 ed 8 sono mostrate due soluzioni di impiego di forgiati in titanio rispettivamente in un rotore rigido e semirigido (in quest'ultimo, alle pale è consentito il movimento di flappeggio attraverso un manicotto tubolare in titanio).

In fig. 9 sono indicate dimensioni e pesi di rotorì a diversa configurazione ottenuti per forgiatura ed in fig. 10 una soluzione forgiata in titanio del mozzo rotore principale di una versione dell'elicottero Agusta-Sikorsky SH-3D.

Nell'elicottero Agusta-Bell AB 412, versione a quattro pale del consolidato 212, caratterizzata da una maggior velocità e comfort e ridotta rumorosità, la struttura del mozzo è ottenuta da due elementi piatti incrociati ottenuti per lavorazione di macchina da piastre di titanio (fig. 11).

Una parziale applicazione del titanio è stata mantenuta nello sviluppo del rotore articolato progettato dall'Agusta per l'elicottero Agusta-Westland EH 101 (fig. 12).

Si tratta di un avanzato progetto di rotore principale bearingless nel quale i movimenti di flappeggio, ritardo e variazione del passo delle pale sono permessi da un singolo elemento elastico, un cuscinetto elastometrico.

Gli elementi di collegamento tra il mozzo e la pala presentano un'interessante struttura mista titanio/composito (fig. 13), dove il composito trasmette principalmente i carichi nel piano di centrifuga, mentre la rigidità torsionale-flessionale è garantita dall'anima interna in titanio.

Area trasmissioni

L' area trasmissioni risulta suddivisa classicamente tra acciai (principalmente AISI 9310) per quanto riguarda gli ingranaggi e leghe leggere (alluminio magnesio) per quanto riguarda i carter.

Sperimentazioni di impiego del titanio in tale area non risultano molto diffuse, si vuol citare di seguito solo lo sviluppo di un carter in lamiera saldata in titanio per esigenze particolari di progetto (fig. 14).

Si tratta di uno stravolgimento dell' usuale concezione dell'intera struttura di trasmissione che consente, grazie ad una corretta progettazione, di trasferire i carichi generati dal rotore direttamente alla fusoliera, evitando in tal modo di coinvolgere le pareti del carter, le quali fungono pertanto esclusivamente da supporto dei carichi generati dagli ingranaggi oltre che da contenitore degli olii di lubrificazione.

Il titanio consente inoltre il notevole vantaggio di sopportare più a lungo le temperature elevate che si raggiungono in caso di perdita d'olio.

Area impianti

Un ulteriore esempio di applicazione del titanio in elicotteristica è rappresentato dai supporti servocomandi di fig. 15.

Tali componenti sono soggetti ai carichi dinamici di ritorno dal rotore ed inoltre funzionano da distributori del fluido in pressione di circa 3000 Psi.

I particolari sono stati realizzati per microfusione in lega Ti 6Al 4V. Nel nuovo elicottero realizzato con la Westland si fa ricorso anche all'impiego del titanio per i condotti idraulici pure operanti a 3000 Psi.

Cellula

Date le piccole dimensioni come spessore dei componenti la struttura ed i requisiti di progetto, tale area risulta principalmente suddivisa tra leghe leggere e composito.

Esempi di applicazioni sono le zone di attacco della trave di coda, soluzione scelta in Agusta anche per la buona compatibilità (rispetto agli altri materiali metallici) con compositi a fibra di carbonio.

Alcuni elicotteri impiegano piastre in titanio nelle zone di supporto del carter trasmissione.

Minuteria in titanio è pure di largo utilizzo per giunzioni ad elevato carico trasferito richiedenti un buon comportamento corrosionistico.

Per riassumere, nella fig. 16 è rappresentata la struttura del LYNX, uno degli elicotteri commerciali che utilizzano in modo estensivo il titanio, in cui sono evidenziate le aree precedentemente analizzate.

Molti dei componenti illustrati sono designati come vitali.

Il concetto di particolare vitale comporta, tra l'altro, un sistema di controlli accurati delle variabili che potrebbero diminuire il livello di sicurezza, assicurando che i requisiti del progetto siano costantemente garantiti.

Nel caso del titanio, ciò comporta il congelamento e garanzia di controllo di tutte le sequenze produttive a partire dal lingotto fino al pezzo finito.

Dei particolari vengono periodicamente prelevati dalla produzione e completamente dissezionati per garantire la costanza della qualità. In alcuni casi le prove meccaniche comprendono anche test di meccanica della frattura.

Nel caso dei componenti soggetti a rilevanti carichi dinamici, particolare attenzione va posta al ciclo di realizzazione del semilavorato, soprattutto per pezzi di grosse dimensioni, ed alle condizioni di finitura del componente (eliminare tensioni residue da formatura ed evitare ove possibile lavorazioni di rettifica).

Nei limiti indicati, si è quindi evidenziato come il titanio possa essere un materiale competitivo sia per applicazioni in temperatura che strutturali nella costruzione di elicotteri.

Fig. 1 Titanium mill products shipped from U.S. mills from 1950 to 1978

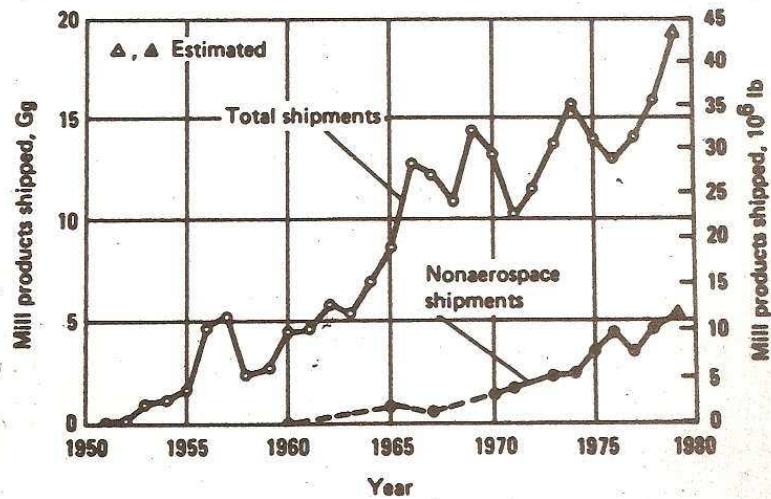


Fig. 1

TABLE 1

TITANIUM ALLOYS IN AERO-ENGINES

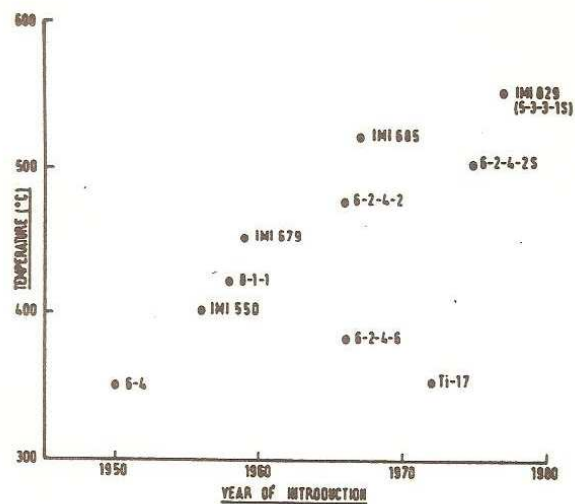
ALLOY	COMPONENTS	ENGINE
Ti-6-4	Discs, rings and blades	Most US and European engines
Ti-6-2-4-6	Discs	Pratt and Whitney F100
Ti-17	Discs	GE CF6 and CFM 56
IMI 550	Discs	RR, Pegasus and Olympus
Ti-8-1-1	Blades	Adour, Larzac, P and W F100
Ti-6-2-4-2-S	Discs and blades	P and W 2037, GE CF6, CFM 56
IMI 685	Discs, rings	RR RB211, RB199, Snecma M53, Adour, Larzac
IMI 829	Discs, rings and blades	RB211-535E4

TABLE 2

TYPICAL MECHANICAL PROPERTIES OF HIGH TEMPERATURE TITANIUM ALLOYS

ALLOY	TENSILE PROPERTIES		FRACTURE TOUGHNESS	LCF STRENGTH
	0.2% PS	UTS	MPa $\sqrt{m}$	2×10^4 Cycles
	MPa	MPa		MPa
Ti-6-4	950	1020	50	900
Ti-6-2-4-6	1120	1250	25	1000
Ti-17	1100	1180	65	980
IMI 550	1000	1120	50	960
Ti-8-1-1	980	1060	45	920
IMI 679	1000	1100	40	930
Ti-6-2-4-2S	960	1020	50	900
IMI 685	900	1020	70	870
IMI 829	860	960	70	850

Fig. 3

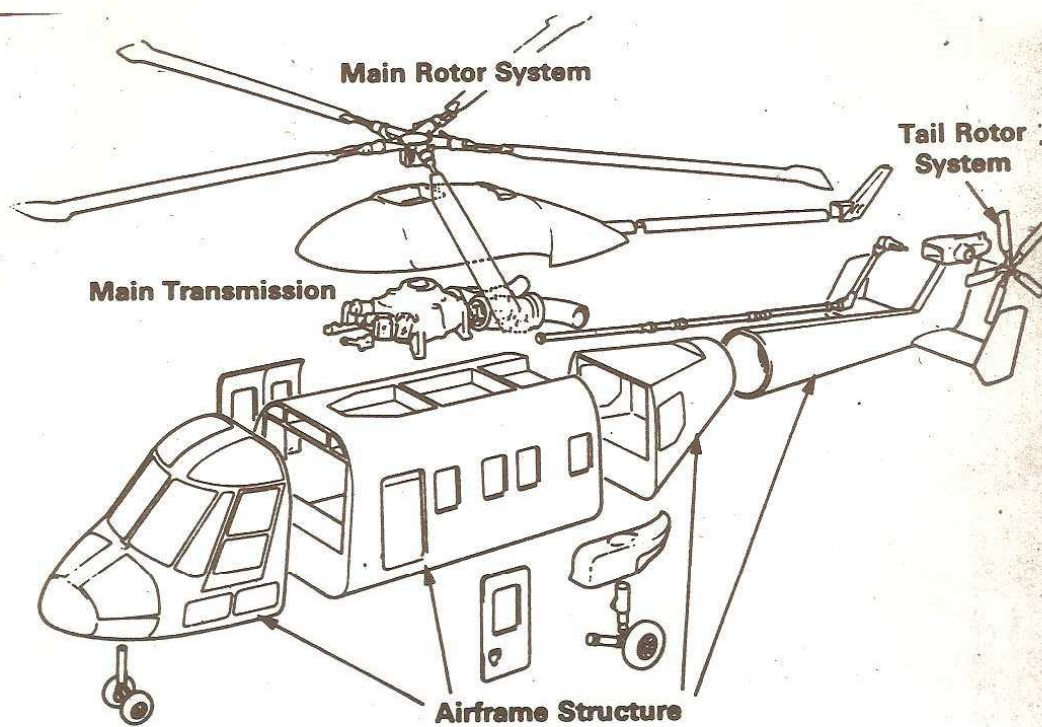


High Temperature Alloys at Present in Production
Aero-engines: Year of Development and
Temperature Capability Under Optimum Stress
Conditions

Fig. 4



Fig. 5



Helicopter Load Carrying Structures

Fig. 8

	% Empty Weight	% Cost
Main Rotor and Tail Rotor	19	10
Transmission	13	6
Airframe	24	11

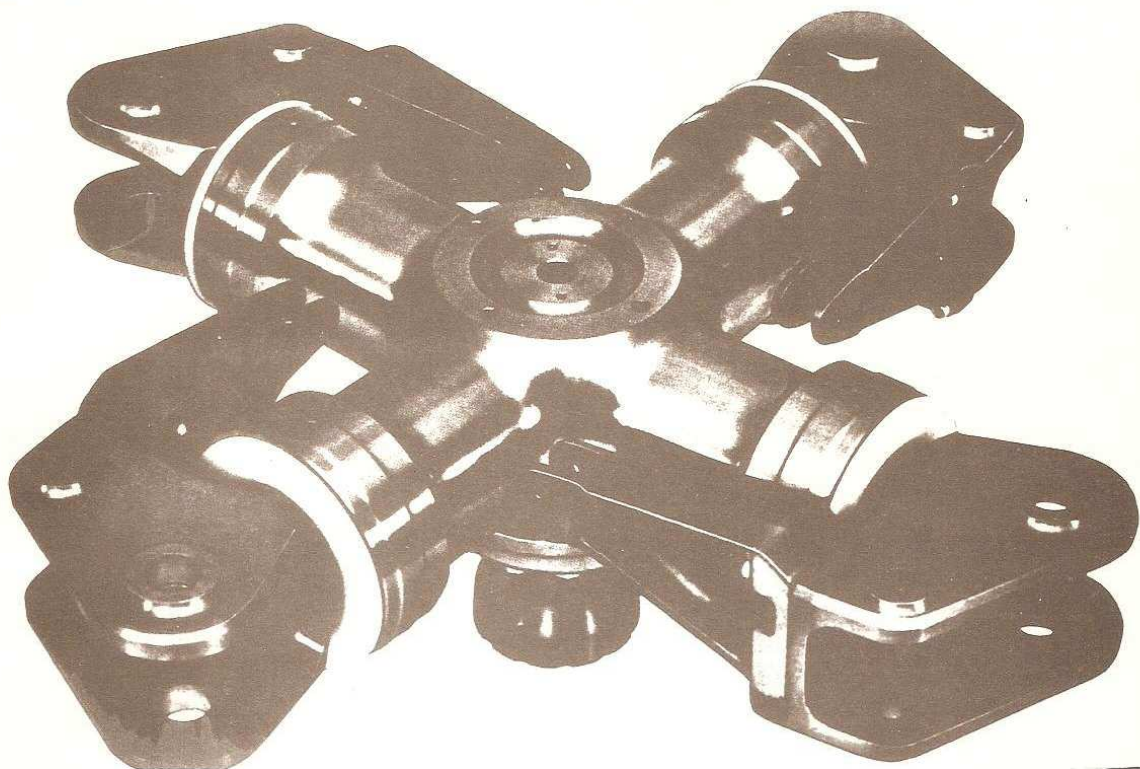
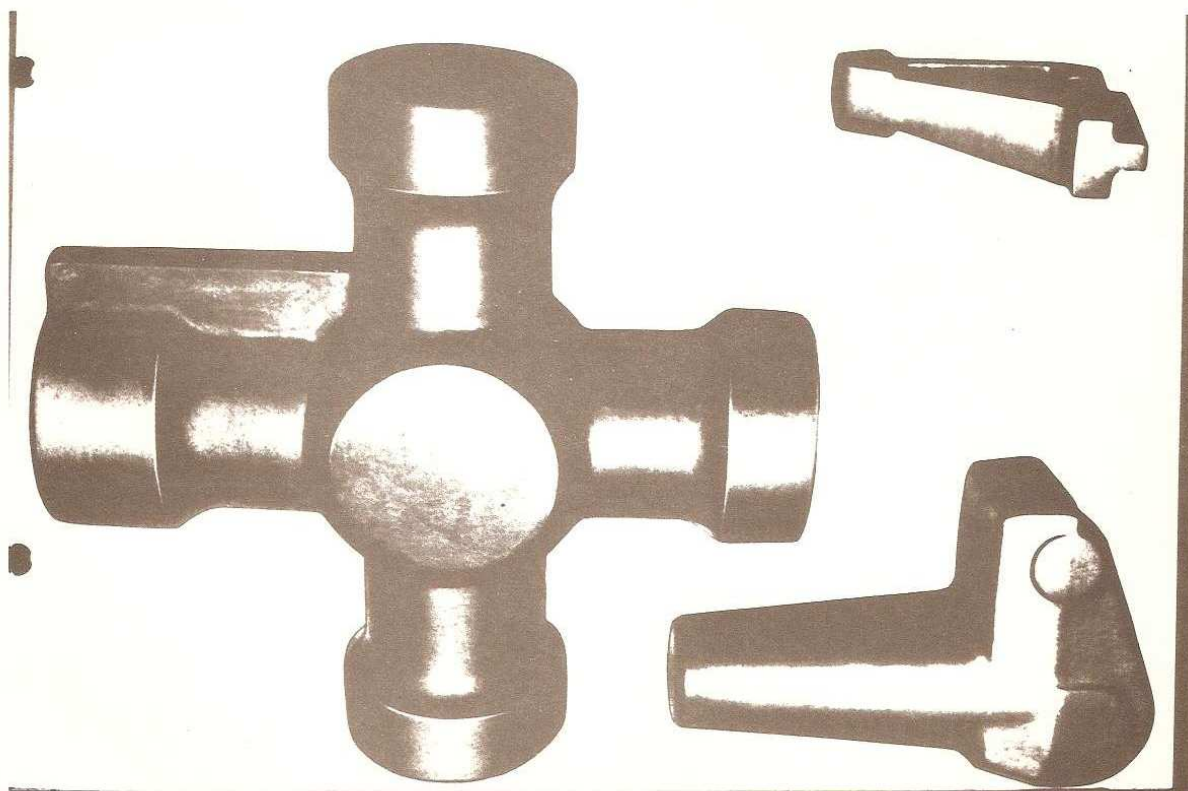
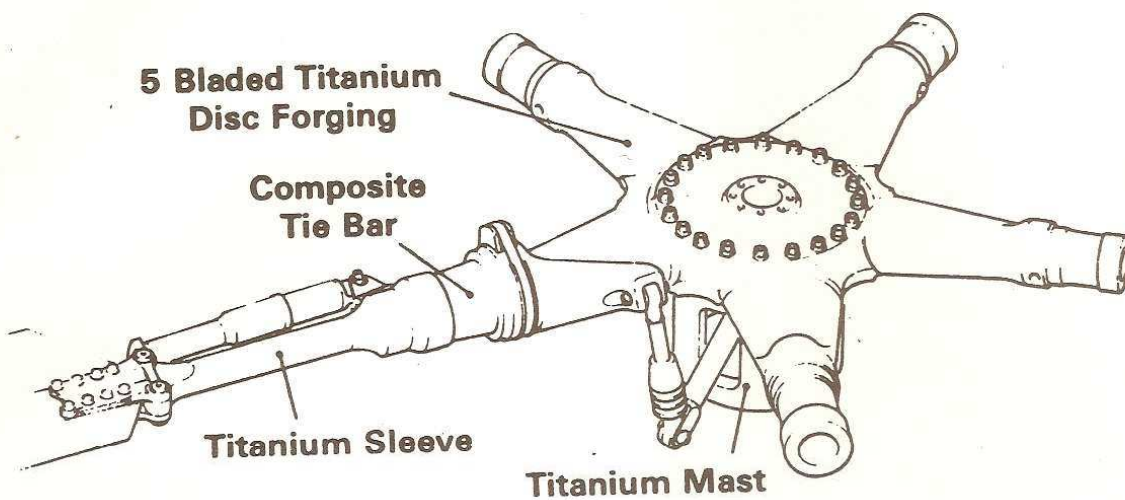


Fig. 10

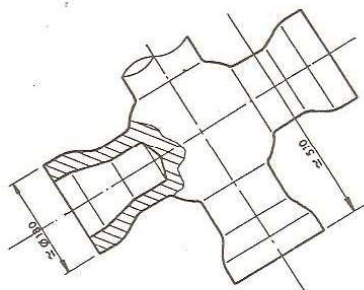




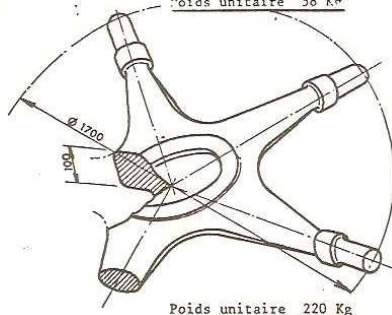
Westland 30 (Series 300)

Fig. 12

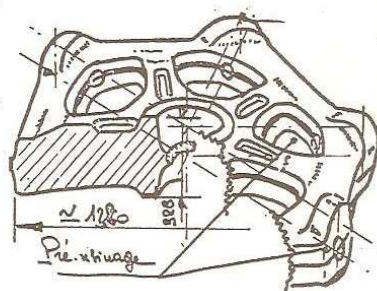
- PIECES TOURNANTES EN T-A6V -



Poids unitaire 58 Kg



Poids unitaire 220 Kg



Tête de ROTOR en Alliage T-A6V

Poids : 780 Kg

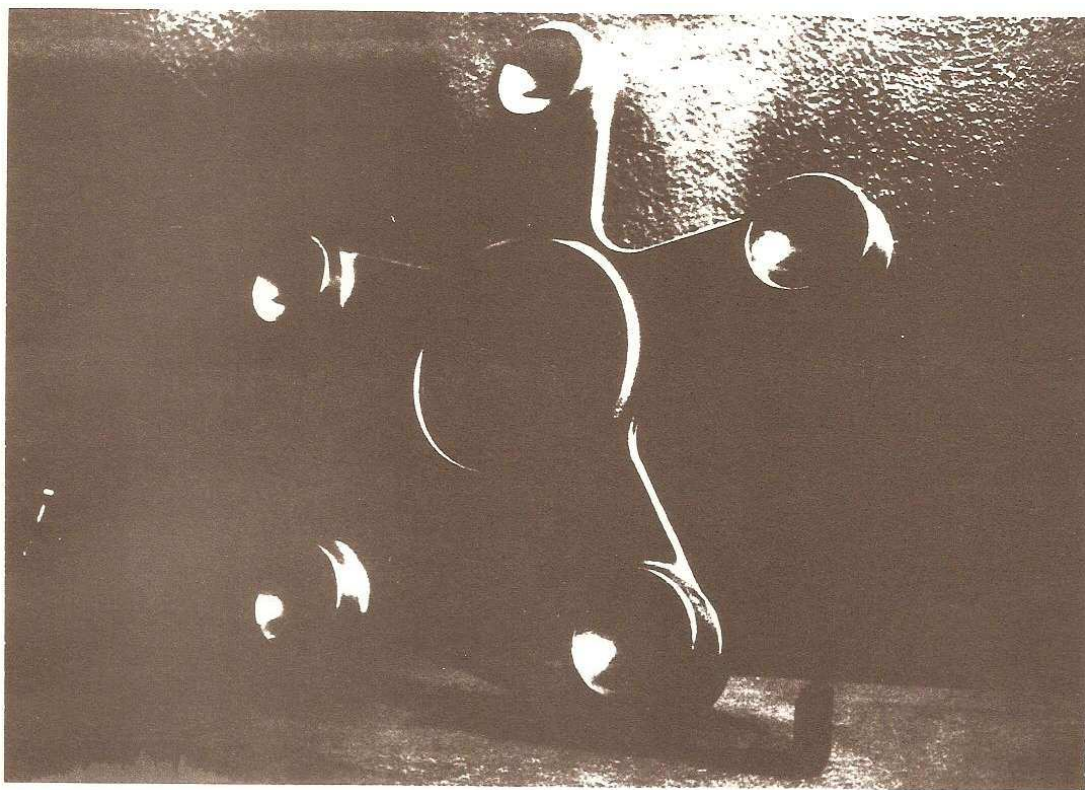


Fig. 14

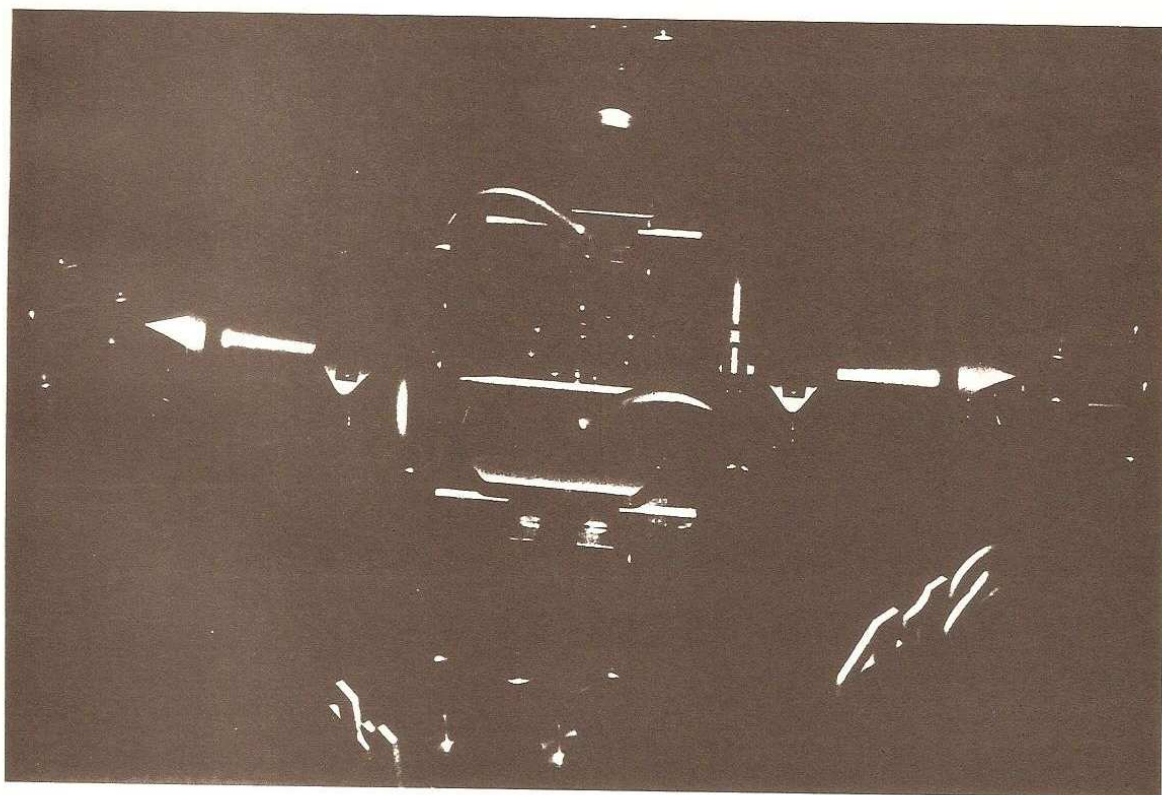
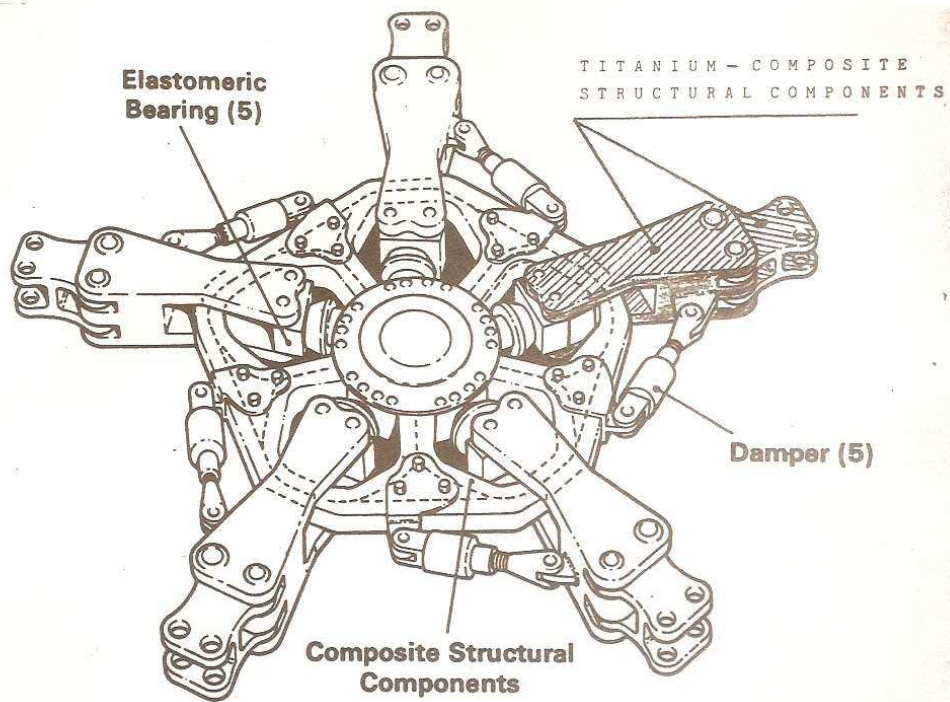
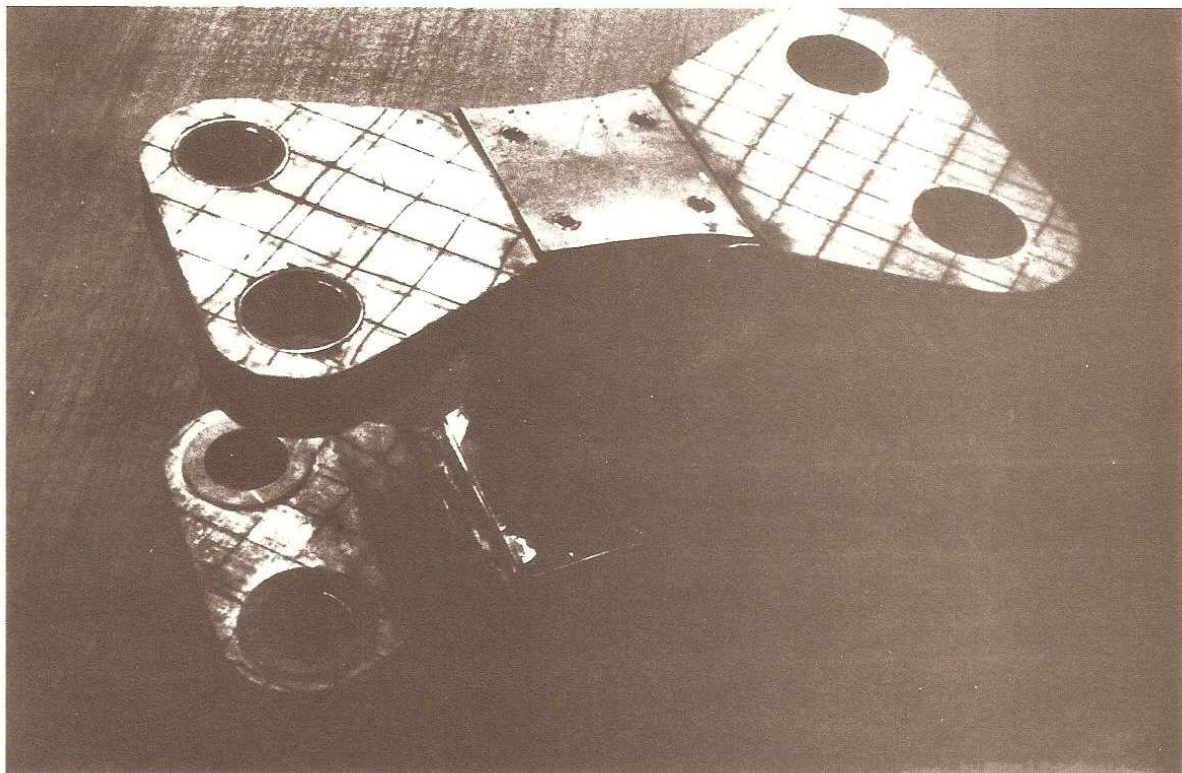


Fig. 15



Agusta - Westland EH101

Fig. 16



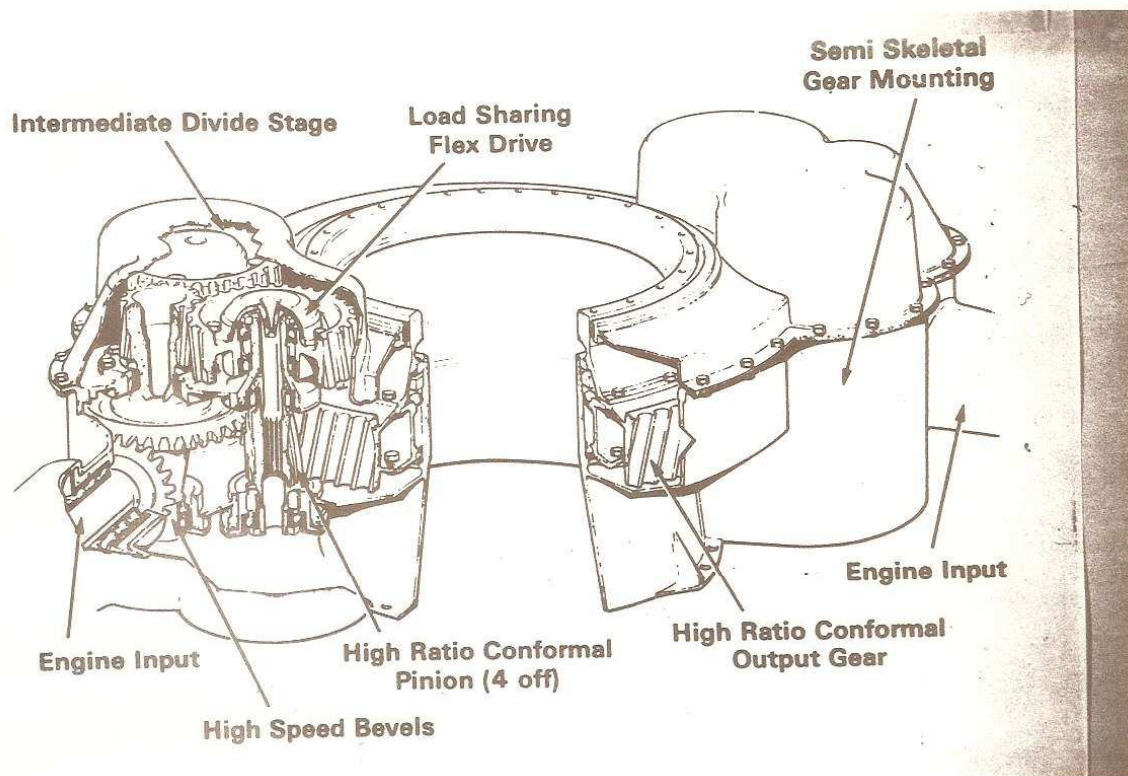
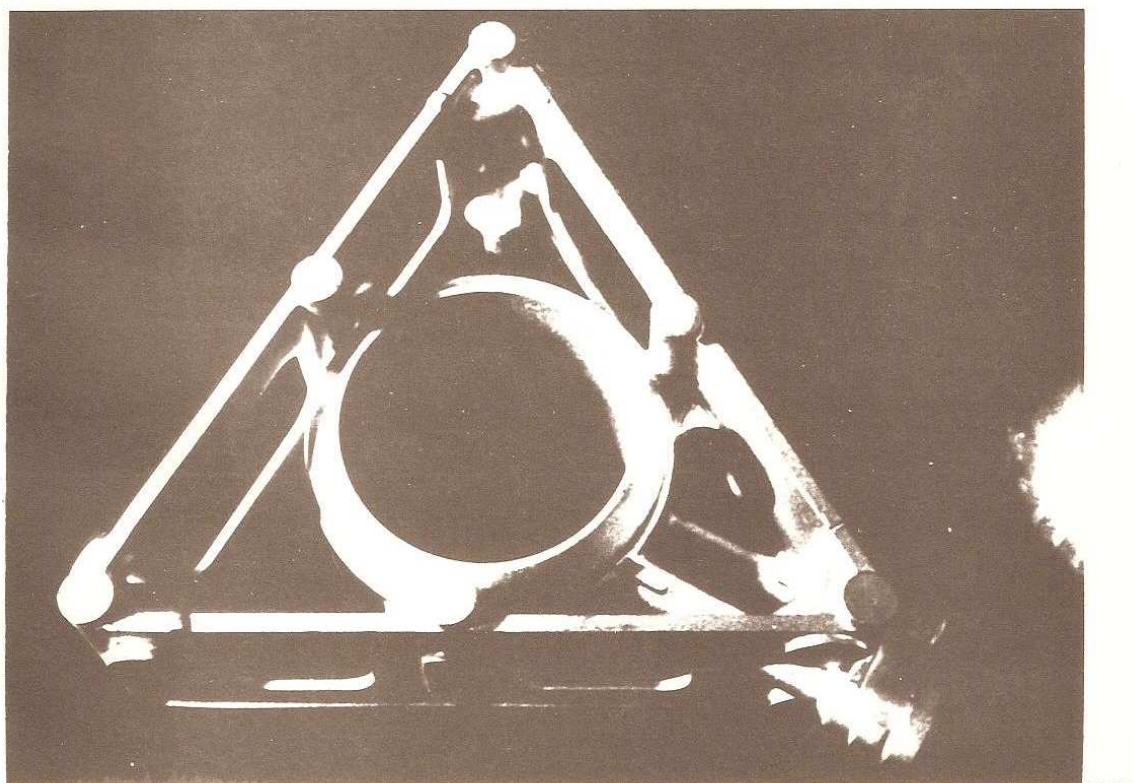


Fig. 18



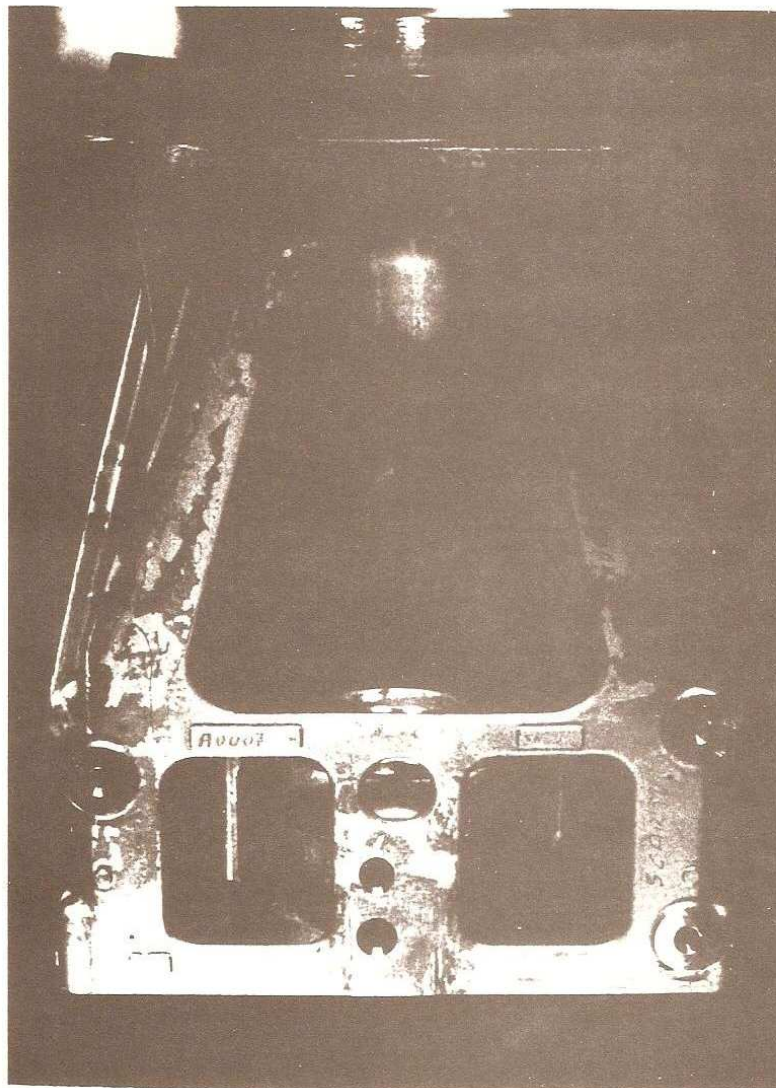


Fig. 20

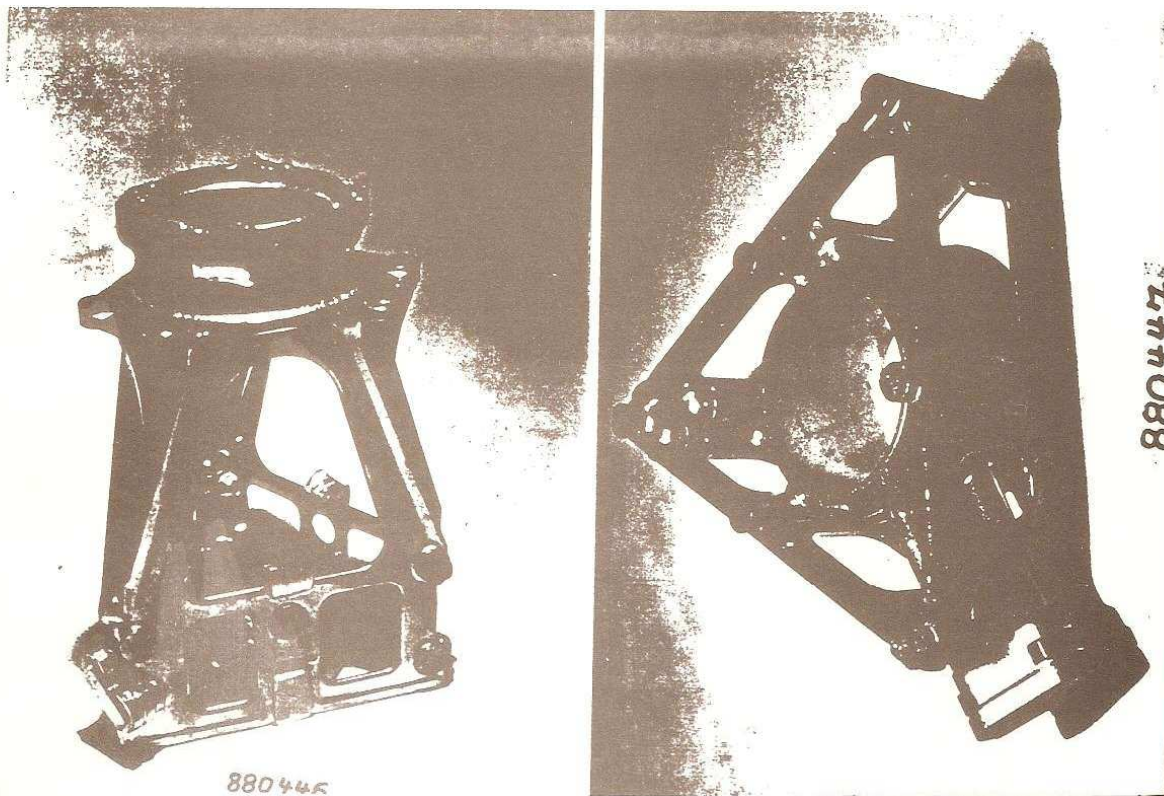
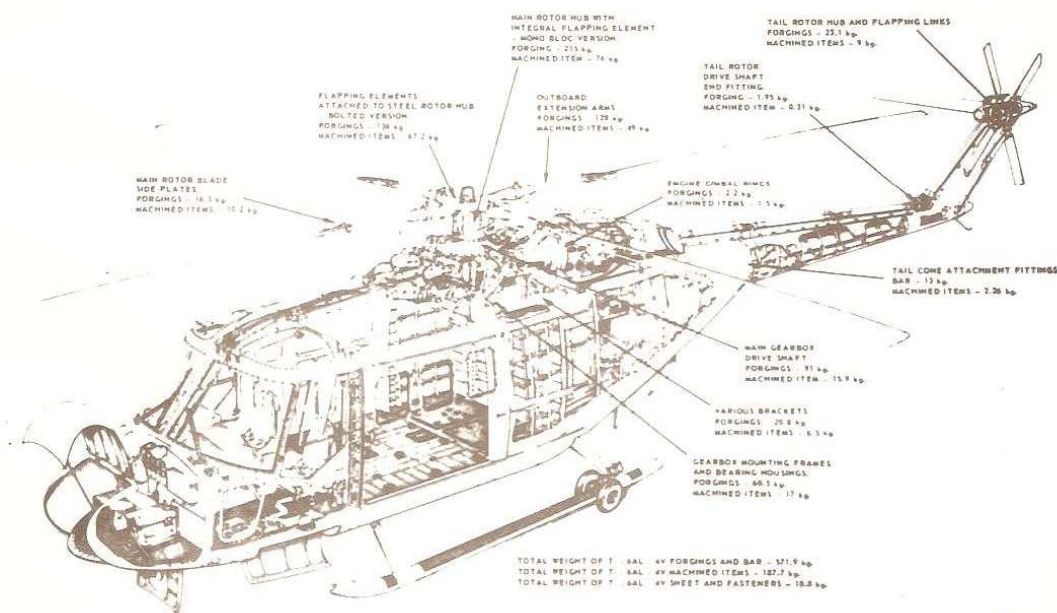


Fig. 21



70

P. R. WEBBEN AND F. L. LARD