

II MEETING SUL TITANIO

Organizzato dalla Ginatta

5 Novembre 1986

Sala Giulio Cesare

Torino Esposizioni

GTT

GINATTA TORINO TITANIUM

I N D I C E

(testi registrati)

- Ing. M.V. Ginatta (EMG)
Introduzione.
- Ing. G. Orsello (EMG)
L'impianto di produzione EMG III.
- Prof. A. Conte (ENEA)
Il programma di promozione industriale dell'Enea nel settore dei materiali di base e semilavorati.
- Dr. S. Seagle (RMI)
Designing with Titanium.
- Sig. A. Vitaloni (Vitaloni Group)
Applicazioni Auto-Moto.
- Dr. K. Rudinger (Contimet)
Effect of the composition of filler wire on the mechanical properties of commercially pure and palladium alloyed Titanium weldments.
- Prof. C. Gianoglio (Politecnico di Torino)
Indurimento superficiale: quali prospettive?
- Dr. K. Kramer (Krupp-Klöckner)
Mechanical properties of Titanium and Titanium alloys, and industrial applications.
- Ing. E. Valenti (RCF)
Utilizzo di membrane in Titanio per trasduttori elettroacustici.
- Prof. P. Pedferri (Politecnico di Milano)
Ossidazione anodica.
- Chiusura.

Ing. M.V. Ginatta
Elettrochimica Marco Ginatta
INTRODUZIONE

Benvenuti a questo II Meeting sul Titanio.

Come l'anno scorso, questa mattina avremo il piacere di sentire noti esperti nei settori tecnici, scientifici e commerciali, che parleranno degli ultimi sviluppi nel nostro settore.

Visto che gli interventi sono numerosi, vorrei rapidamente concludere l'introduzione e presentare immediatamente la prima memoria dell'Ing. Orsello

Il titolo di questa memoria è: "L'impianto di produzione del Titanio elettrolitico" della Soc. Elettrochimica: il nostro processo-impianto.

Con questo intervento desideriamo presentare una testimonianza dell'impegno della nostra Società per assicurare al nostro paese nei prossimi anni la fornitura di Titanio prodotto sul territorio nazionale.

A questo punto vorrei cogliere l'occasione per ringraziare tutti coloro che hanno partecipato con noi a questo sforzo, in particolare all'Istituto Mobiliare Italiano, alle nostre banche ed ai collaboratori tutti quanti e, come stimolo per la discussione, e per tutti quanti gli intervenuti, vorrei dire che a questo punto insieme con voi, che siete operatori di importanti aziende nei vari settori industriali, siamo pronti a intraprendere un lavoro di sviluppo degli impieghi di questo bel materiale che si pone giusto in mezzo fra l'alluminio e l'acciaio, combinando molte delle proprietà di entrambi.

Gli oratori che seguiranno, vi illustreranno le loro esperienze ed i loro lavori e potremo apprezzare, oltremodo, le proprietà del Titanio e delle sue leghe.

Questo meeting, come sapete, viene fatto proprio per stimolare l'impiego del Titanio e sue leghe nei vostri progetti, e per cercare di contribuire con tutti i dati, le procedure e le ricette necessarie ad agevolare questo utilizzo. Questo certamente per fare crescere il mercato del Titanio e per sviluppare, proprio, una produzione industriale in Italia, lungo tutta la linea di lavorazione, dal grezzo ai semilavorati ai prodotti finiti.

Avremmo poi il piacere di presentare il Prof. Conte dell'ENEA, che ci parlerà del programma nazionale dell'ENEA nel Titanio: questo qualifica molto il nostro lavoro.

Il Prof. Conte è responsabile del progetto Materiali di base e Semilavorati del dipartimento TERM dell'ENEA.

Seguiranno:

- Il Dr. Seagle, vice presidente della società americana RMI che parlerà dei criteri di progettazione con il titanio;
- Il Sig. Alberto Vitaloni del Gruppo Vitaloni che ci illustrerà esperienze di applicazioni nel campo Automobilistico e Motociclistico;
- Il Dr. K. Rüdinger, della Società Contimet, che presenterà una memoria sulle proprietà meccaniche del titanio e leghe;

- Il Prof. Gianoglio che al Politecnico di Torino è impegnato nello studio dell'indurimento superficiale del titanio;
- Il Dr. K. Kramer della Krupp-Klöckner, esperto di applicazioni industriali del titanio e leghe;
- L'Ing. Valenti della RCF ci illustrerà la possibilità di utilizzazione di sottilissime membrane di Titanio in campo elettroacustico;
- Il Prof. P. Pedefferri del Politecnico di Milano che con l'ossidazione anodica ottiene risultati molto particolari ed interessanti dal punto di vista scientifico ed estetico.

Ing. G. Orsello

Elettrochimica Marco Ginatta

L'IMPIANTO DI PRODUZIONE DEL TITANIO ELETTROLITICO

Lo scopo del mio intervento è portare la testimonianza dell'impegno della Società a cui appartengo - la EMG - per assicurare al nostro paese nei prossimi anni la fornitura di titanio, prodotto sul territorio nazionale.

Sappiamo tutti - scusatemi se lo ripeto - che questo metallo, grazie alle sue proprietà eccezionali, sta assumendo un ruolo sempre più importante nell'industria, mentre, già da molti anni, ha dimostrato la sua funzione strategica nell'aviazione militare e civile e nella conquista degli spazi.

Le proprietà di cui parlo, e che verranno riconfermate negli interventi molto importanti che seguiranno, sono essenzialmente la bassa densità del metallo, $4,5 \text{ kg/dm}^3$, rapportata alle altissime caratteristiche meccaniche delle leghe di titanio, fino a 170 kg/mm^2 di carico di rottura, la resistenza alla corrosione in una grande varietà di ambienti; l'ottima lavorabilità, saldabilità, la possibilità di produrre fusioni, anche se con tecnologie un po' diverse da quelle siderurgiche tradizionali, e l'enorme potenzialità di tecnologie nuove quali la formatura superplastica e la saldatura per diffusione. Inoltre il titanio offre tutta una serie di ulteriori proprietà che possono essere apprezzate entrando più in dettaglio delle applicazioni, quali derivano dal modulo elastico, dalla resistenza balistica, dalla stabilità alle radiazioni, lunga durata, bassa o nulla manutenzione dei

manufatti, ossidazione superficiale, superficie che non ospita batteri o altri microorganismi, compatibilità con l'organismo umano, con i cibi, proprietà amagnetiche, etc. Negli Stati Uniti furono investiti molti miliardi di dollari per sviluppare una produzione nazionale di questo metallo, con importantissimi risultati.

Lo stesso accadde in Unione Sovietica, e, più recentemente, in Giappone. Anche in Europa vi è stato uno sforzo, che si è concretizzato in un impianto di produzione di titanio grezzo di limitata capacità, in Inghilterra, e in alcuni impianti di trasformazione della spugna in semilavorati in Germania, Inghilterra e Francia; la spugna è però quasi interamente importata dal Giappone o Unione Sovietica con problemi facili da immaginare.

Per quanto ci riguarda già più di dieci anni fa la nostra Società aveva individuato nel titanio un settore di importanza strategica, industriale e commerciale e si era posta l'obiettivo di realizzare nel nostro Paese un impianto produttivo. Ma in che modo? Attraverso la tecnologia tradizionale, oggi usata dai paesi produttori, processi chiamati Kroll e Hunter dai nomi dei loro inventori, processi chimici discontinui, sviluppati 40 anni fa e oggi sostanzialmente immutati? Processi alquanto costosi in termini di investimenti, di manodopera, di energia, processi molto difficilmente automatizzabili?

Allora pensammo subito di avere una grossa possibilità: lavorare per sviluppare un processo nuovo, più rispondente ai bisogni dell'industria per produrre titanio su larga scala, in modo più economico, e di elevata qualità. Il processo elettrochimico aveva sia sulla carta - intendo dire nella letteratura prodotta da decine di ricercatori,

a livello di laboratorio - sia in pratica, ossia come esperienze di impianto pilota sia pure limitate - la potenzialità di imporsi come una valida alternativa ai processi attuali.

Così senza scartare nulla delle esperienze accumulate negli anni, si è lavorato con il famoso trinomio SSL - sangue, sudore e lacrime - sul processo e sull'impianto.

Le difficoltà trovate e superate sono insite nella natura della materia prima, il biossido di titanio - che viene trasformato in $TiCl_4$ da grandi aziende chimiche internazionali, la cui produzione va per oltre il 90% nell'industria del pigmento bianco - materia prima che è assai riluttante a decomporsi liberando il metallo. Questo risultato, la produzione del metallo, si ottiene con una quantità di energia che è simile a quella per produrre l'alluminio; con un processo produttivo che si svolge a temperature dell'ordine di 900^0 C, con la protezione di un'atmosfera inerte o del vuoto; con un impianto elettrolitico diverso dagli impianti elettrolitici tradizionali; e con rigorose procedure operative, moderne vogliamo dire.

In molti anni che sono seguiti da quelle considerazioni di cui dicevo, abbiamo fatto molto lavoro applicato di innovazione di processo e di impianto, che ci ha consentito di essere oggi in produzione con una cella industriale che sarà poi duplicata in molti esemplari e costituirà l'impianto commerciale di grande dimensione.

Vediamo alcune immagini dell'impianto (Il Modex).

Il Modex appare (fig. 1) come un grande contenitore in acciaio, strutturalmente robusto per resistere alle sollecitazioni del vuoto, che ha la funzione di garantire la copertura di atmosfera sul bagno di sali fusi.

Gli elettrodi sono alimentati con corrente raddrizzata e sono movimentati da un manipolatore: condizione necessaria, questa, per la produzione continua.

Dando uno sguardo dall'altro lato su questo impianto (fig. 2), si vede come esso sia composto da un numero di sottosistemi che permettono il controllo accurato dei parametri, del processo; in sala controllo.

L'impianto è alimentato solamente da energia elettrica e tetracloruro di titanio.

I raddrizzatori hanno il compito di alimentare la corrente elettrica ad alta intensità, mentre il $TiCl_4$ che qui vediamo insieme alla riserva di gas inerte, ci assicurano quindici giorni di produzione alla targa di 200 kg al giorno di titanio depositato su catodi come questo (fig. 3).

Osserviamo un dettaglio delle dendriti di titanio prodotte (fig. 4).

Dalle dimensioni delle apparecchiature e dei catodi si comprende lo sforzo finanziario che la nostra società ha dovuto sostenere; si pensi inoltre che questo è il terzo impianto che abbiamo realizzato dal 1981, dopo diversi anni di R/D in laboratorio e su scala prototipi.

Mi si presenta l'occasione di ringraziare tutti i fornitori che hanno partecipato con noi a questo sforzo, dei quali molti sono presenti in sala.

E vorrei ringraziare anche, in modo particolare, tutti i collaboratori della EMG di cui molti sono presenti in sala, e che idealmente si trovano anche qui con me dietro al microfono a presentare il nostro lavoro.

Adesso tocca a Voi, tecnici, responsabili di importanti aziende nei vari settori industriali.

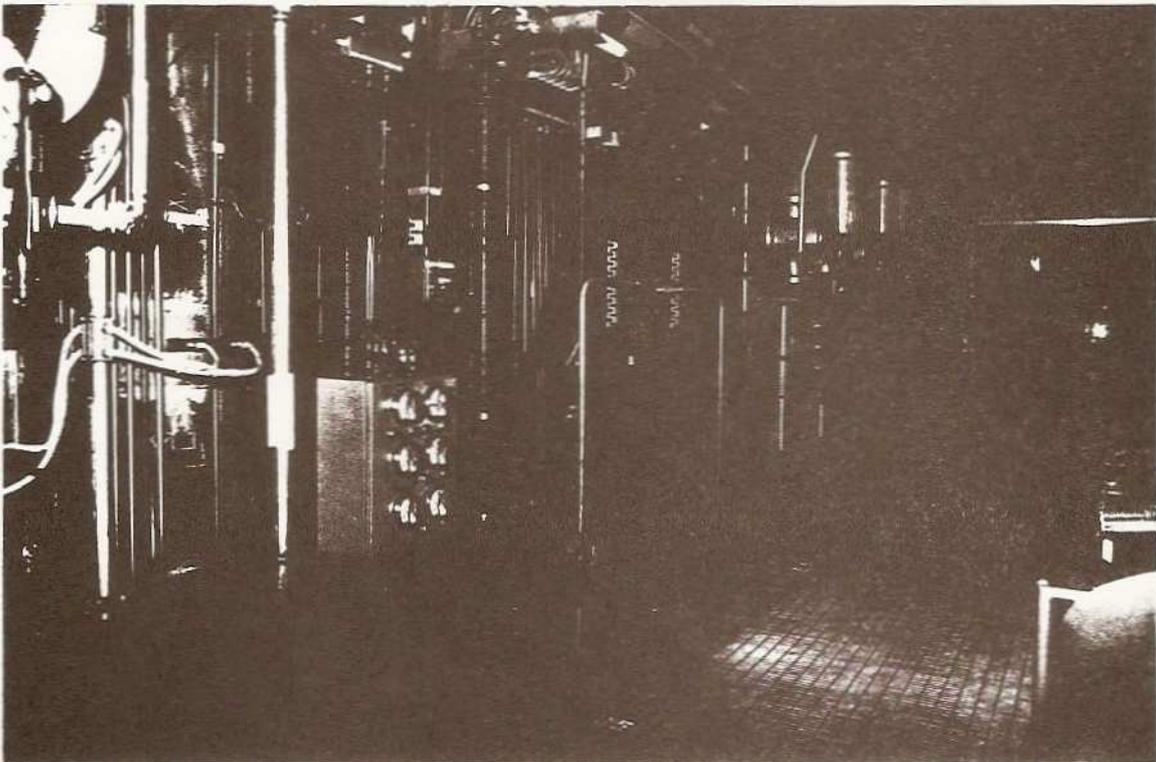
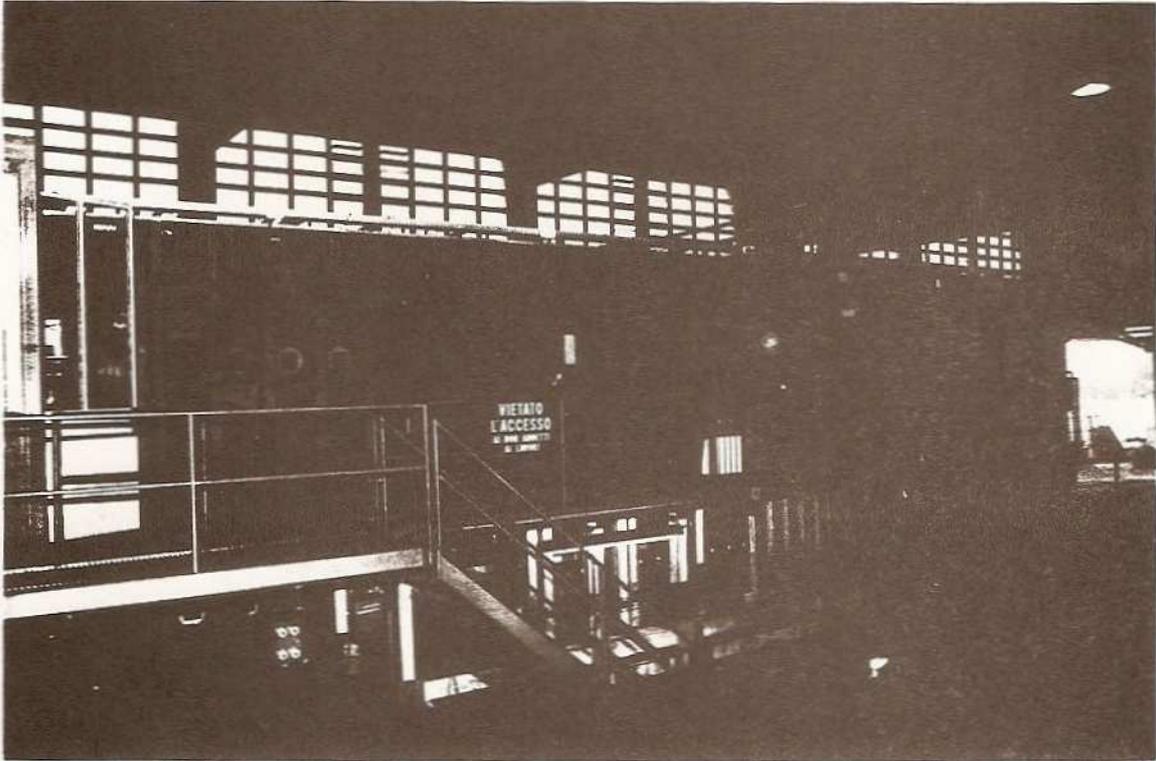


Fig. 1 e 2: Il Modex

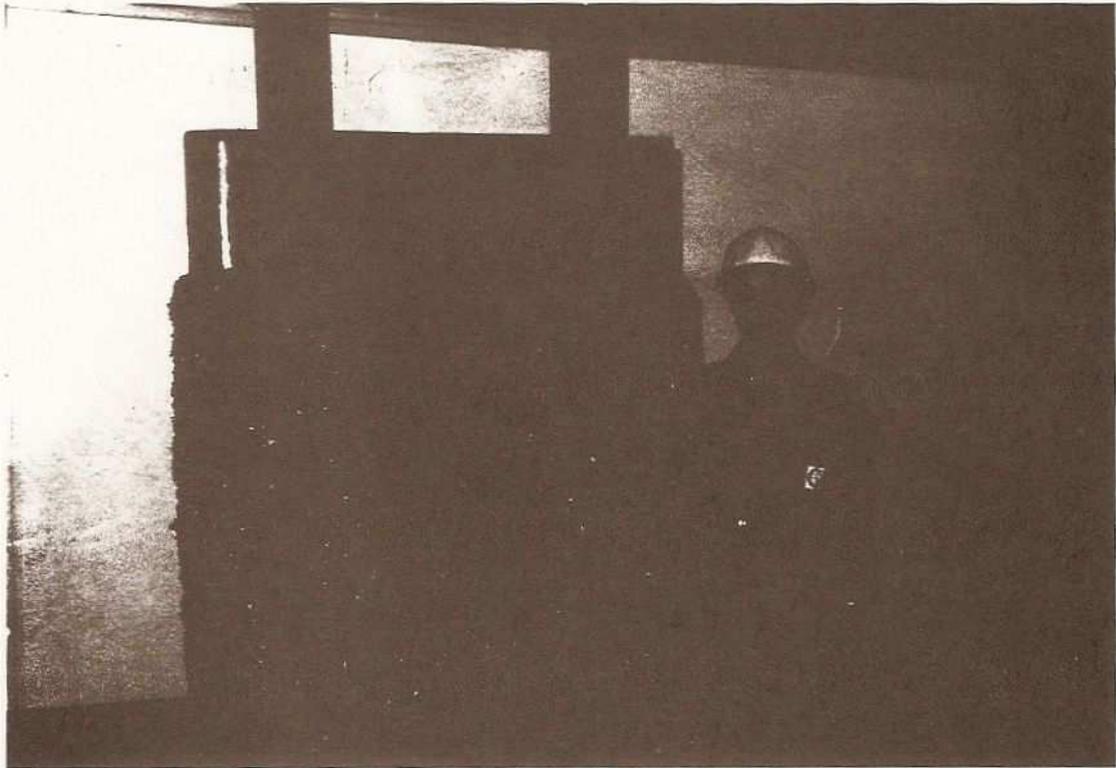


Fig. 3: Catodo di titanio elettrolitico

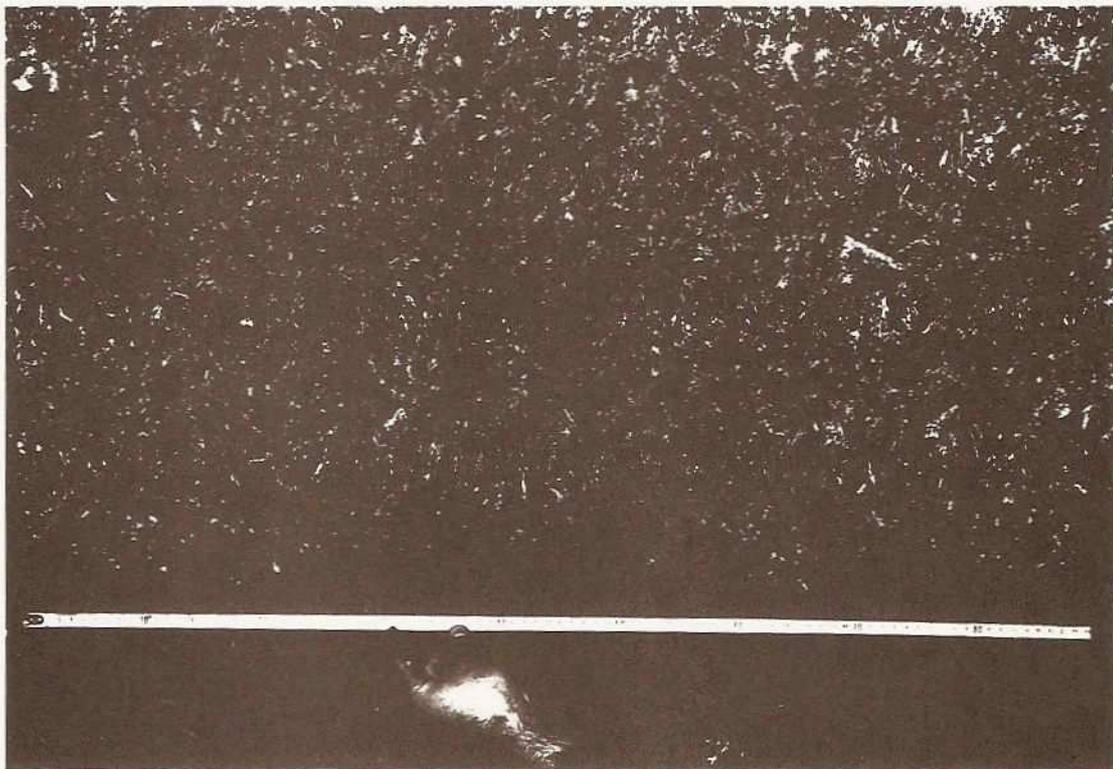


Fig. 4: Dendriti di titanio elettrolitico

Gli oratori che mi seguiranno sapranno parlarvi, molto meglio di me, per illustrarvi le caratteristiche e degli impieghi di questo eccezionale materiale per il quale la EMG ha sviluppato un nuovo processo produttivo. Adesso tocca a voi, dicevo, per apprezzarne le proprietà. Per impiegarlo nei vostri progetti. Per far crescere il mercato. Per aiutarci così a sviluppare una produzione industriale in Italia.

Perché anche nel nostro Paese le Aziende creano Nuove Tecnologie.

Come la EMG e la tecnologia di produzione del Titanio Elettrolitico.

Grazie.

Prof. A. Conte

ENEA Dipartimento TERM

IL PROGRAMMA DI PROMOZIONE INDUSTRIALE DELL'ENEA NEL
SETTORE DEI MATERIALI DI BASE E SEMILAVORATI

Innanzitutto desidero ringraziare l'Ing. Ginatta per avermi invitato a partecipare a questa giornata consentendomi di spendere qualche parola sugli interventi di Promozione Industriale dell'ENEA nel campo dei materiali di base e semilavorati, incluse le iniziative di recente avviate nel settore del titanio.

Il Dipartimento Reattori Termici dell'ENEA ha svolto, a partire dal 1975, un'attività di Promozione Industriale finalizzata al settore nucleare il cui scopo è stato, tra l'altro, quello di promuovere attività di ricerca e sviluppo per massimizzare il contributo dell'industria nazionale alla realizzazione delle centrali nucleari ad acqua leggera, previste dal Piano Energetico Nazionale.

Per realizzare il programma suddetto il nostro Dipartimento si è dato una struttura progettuale tale da rispecchiare la suddivisione delle attività in relazione alle famiglie di prodotti omogenei che corrispondono ai componenti o sistemi in cui può essere disaggregata una centrale nucleare, quali il Sistema Nucleare, la Caldaia Nucleare, il Tubo-Alternatore, il Cilindro Termico, le Cariche di Combustibile, la Strumentazione, i Componenti Minori, i Materiali di Base e Semilavorati.

Successivamente, nel quinto Piano Quinquennale dell'ENEA (1985-1989), deliberato dal CIPE nel marzo del 1985, è stata ribadita la strategicità del nucleare come fonte energetica ma, contemporaneamente, è stato posto l'accento sulla necessità di trasferire le conoscenze e le tecnologie sviluppate per il nucleare a tutto il settore energetico ed industriale in generale.

Questo ha comportato, per il nostro Dipartimento, l'avvio di attività rivolte ad impianti definiti, in generale, ad alta intensità energetica, quindi sia ad impianti per la generazione di energia, come le centrali elettriche convenzionali, sia ad impianti ad elevato consumo di energia.

Il ruolo della Promozione Industriale di promotore di acquisizione e sviluppo delle conoscenze progettuali costruttive, è stato così allargato anche a quello di coordinatore del trasferimento delle conoscenze di un settore ad altri, da un interlocutore ad altri.

Ritengo opportuno, a questo punto, illustrare brevemente le modalità d'intervento dell'Enea e le strategie con le quali vengono impostati questi programmi di Promozione Industriale.

Come indicato in tabella 1, fundamentalmente vi sono tre modi d'intervento.

Il primo consiste in un servizio di informazione e consulenza all'industria, realizzato mediante l'istituzione di "Sportelli Tecnologici" che costituiscono punti di riferimento per le Aziende che intendono qualificarsi in settori tecnologici avanzati.

Un altro tipo d'intervento riguarda la fornitura, a tariffe promozionali, di servizi di prova e certificazione mediante laboratori dell'Enea o di altri centri nazionali con cui l'Enea ha specifici accordi.

Infine, per quanto riguarda l'attività di sviluppo di prodotti e tecnologie, la stessa viene svolta nell'ambito di Contratti di Associazione bilaterali tra l'Enea e l'Industria, a finanziamento e gestioni congiunte. Nella tabella 2 sono riportati i criteri di individuazione e valutazione delle proposte di attività. Le quote di finanziamento a carico dell'Enea variano in funzione dell'interesse aziendale e nazionale del rischio associato all'investimento della fase del processo di sviluppo, dei tempi di ritorno degli investimenti stessi.

Per quanto attiene i programmi del Progetto Materiali di Base e Semilavorati, nella tabella 3, sono indicate la struttura del progetto stesso, le attività attualmente in corso, gli organi esecutori delle attività.

Nel loro complesso queste iniziative si propongono di:

- coordinare e valorizzare le diverse risorse e competenze nazionali disponibili per favorire lo sviluppo delle tecnologie di produzione di materiali ad elevato contenuto tecnologico strategico, economico, attualmente di esclusiva produzione estera;
- supportare l'adeguamento delle tecnologie di fabbricazione di materiali di base e semilavorati, già di produzione italiana, secondo gli indirizzi di dinamica dell'innovazione e di miglioramento di qualità del prodotto, per mantenere la competitività in campo internazionale;
- svolgere i programmi di Promozione Industriale in un quadro coordinato ed integrato a livello nazionale con altre iniziative di sostegno pubblico tese all'obiettivo generale di innovazione e specializzazione della siderurgia italiana;

- assicurare il costante collegamento fra i produttori e gli utilizzatori dei materiali anche in relazione agli elevati valori di disponibilità, affidabilità e sicurezza richiesti ai materiali per diverse applicazioni industriali.

Proprio sulla base di questi criteri ed avendo effettuato un'analisi del tipo indicato in tabella 2, è stato ritenuto valido intraprendere una serie di iniziative anche nel settore del titanio, a seguito di proposte avanzate dalle Società Elettrochimica Marco Ginatta, Dalmine, Tectubi.

Le iniziative, già in atto, riguardano la produzione del titanio per via elettrochimica e la caratterizzazione di prodotti ottenuti a partire dallo stesso (E.M.G.), la messa a punto della tecnologia di fabbricazione di tubi in titanio saldati, per condensatori (Dalmine), lo sviluppo di semilavorati in titanio per impieghi in ambienti molto corrosivi (Tectubi).

In definitiva con questo programma ci proponiamo di acquisire conoscenze sul titanio prodotto per via elettrolitica e, più in generale, di promuovere capacità nazionali per lo sviluppo di tecnologie di fabbricazione di semi lavorati e prodotti finiti in titanio e leghe di titanio, al fine di diminuire la nostra dipendenza dall'estero in questo settore.

TABELLA 1

ATTIVITA' DI PROMOZIONE INDUSTRIALE DEL DIPARTIMENTO
REATTORI TERMICI DELL'ENEA

MODALITA' DI INTERVENTO

Servizio di Informazione e Consulenza	Svolto attraverso gli "Sportelli Tecnologici" di Torino, Vercelli, Milano, Udine, Genova, Roma, che utilizzato sistemi informativi computerizzati realizzati da ENEA tra cui una Banca Dati Materiali e Componenti ed una Banca Dati Normative.
Servizio di Prova e Certificazione	Svolto attraverso laboratori interni ed esterni all'ENEA
Sviluppo di Prodotti e Tecnologie	Realizzato mediante Contratti di Associazione bilaterali con gli Operatori Industriali, a finanziamento e gestione congiunti.

TABELLA 2
 CRITERI DI INDIVIDUAZIONE E VALUTAZIONE
 DELLE PROPOSTE DI INTERVENTO

Analisi del prodotto	- Descrizione - Destinazione - Tecnologie e tecniche di produzione
Analisi della Domanda	- Mercato - Proiezioni - Caratteristiche
Analisi della Offerta	- Fornitori - Concorrenza nazionale ed estera - Eventuale razionalizzazione in sede nazionale
Definizione del programma di sviluppo	- Aspetti innovativi del prodotto - Personale competenze e attrezzature necessarie - Preventivi di spesa e tempi di esecuzione
Valutazione Mercato Acquisibile	- Nazionale - Estero
Analisi ritorni economici diretti	- Aziendali - Nazionali
Analisi Benefici Indiretti	- Ricadute in altri settori - Immagine - Occupazione - Bilancia dei pagamenti

TABELLA 3
 PROGETTO MATERIALI DI BASE E SEMILAVORATI

AREA DI PROGETTO	LINEE DI ATTIVITA'	ORG.ESECUTORE
Materiali di base e semi lavorati ferrosi	Semilavorati per contenitori in pressione grossi fucinati e getti Lingotti colati cavi Corpi cavi centrifugati Tubi medi senza saldatura	Terni Enea Terni C.S.M. Tub.Solbiate Enea Dalmine
Materiali di base e semilavorati non ferrosi	Leghe di zirconio Ottimizzazione produzione alluminio elettrolitico Getti in leghe di alluminio Titanio e semi lavorati in titanio	Sameton Alumina Enea Alumina Enea EMG Dalmine Tectubi
Superleghe	Sviluppo della tecnologia investment casting per getti di precisione DS e SC Sviluppo di materiali antiusura di tecnologie di riporto e di metodologie di caratterizzazione	Deltasider C.S.M. Deltasider C.S.M. Fiat-CIEI

Dr. Stan R. Seagle

RMI - U.S.A.

DESIGNING WITH TITANIUM

I wish to thank Dr. Marco Ginatta and Dr. Ugo Ginatta for the opportunity to be here with you today and to be part of this second Torino Symposium on Titanium. Being part of the first program last year, it is certainly an honor for me to participate again. Today my comments will be addressed to concepts utilized in aerospace designs with titanium. (Slide No.1) I will discuss current and future trends for titanium alloys primarily in aerospace applications.

There are several unique design properties of titanium (Slide No.2), and I have listed several here: First of all, corrosion resistance. As many of you know, titanium is excellent in most salt environments. The second unique characteristic is its specific strength, or the ultimate strength divided by density. This is a measure of efficiency.

The third characteristic that is unique is thermal expansion. The thermal expansion of titanium is relatively low for metals, which means it is very compatible with composite structures and with ceramics having nearly the same thermal expansion. The heat transfer of titanium is also excellent primarily because of its good corrosion resistance. And last the low elastic modulus. Because of this low modulus and high strength, it is able to absorb large amounts of elastic energy and makes it very useful in spring applications. But I am not going to

DESIGNING WITH TITANIUM

RMI COMPANY
NILES, OHIO

Slide No. 1

Unique Design Properties

Corrosion Resistance

Specific Strength

Thermal Expansion

Heat Transfer

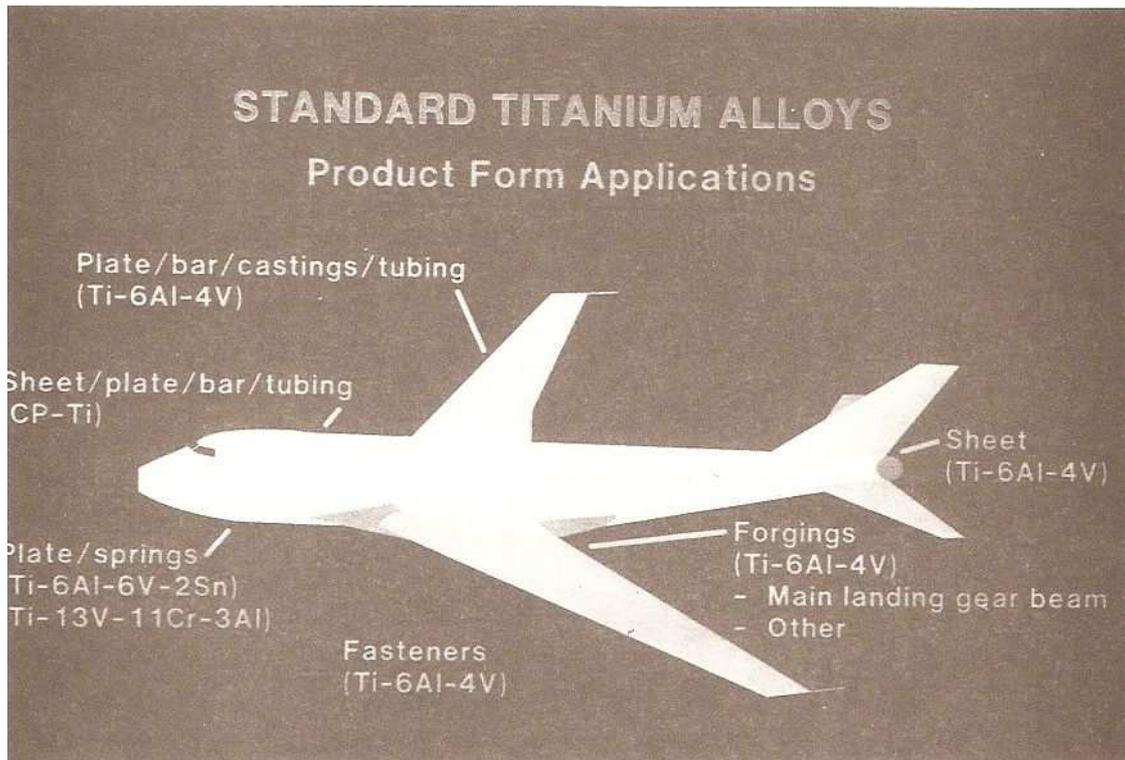
Elastic Modulus

Slide No. 2

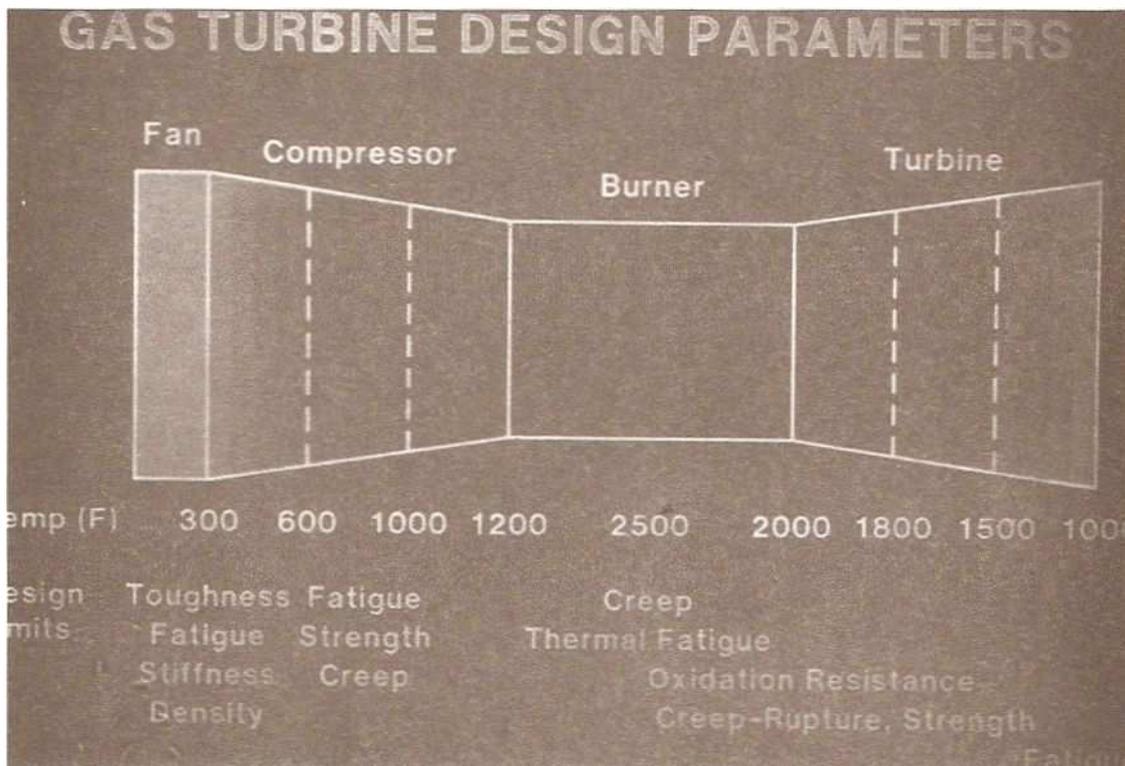
discuss all of these characteristics today. I am going to center on the specific strength of titanium. This is the key property that is necessary for aerospace applications. My talk will primarily center on specific strength as applied to airframes and as applied to jet engines.

The titanium industry grew out of post World War II development of jet-driven aircraft, and for the most part it is still heavily dependent on the aerospace industry. In airframe titanium alloys are used in numerous applications, as you can see in Slide No. 3. The important design features for airframe applications are the specific strength, as I said, the ultimate strength divided by density, the toughness of the material, and heat resistance.

The largest usage of titanium (Slide No.4) is in the gas turbine engine, where titanium alloys are approximately 30 percent of the total weight of the gas turbine engine. Titanium alloys are used in the compressor section up to temperatures as hot as 550° C. The design properties in the cooler portions are toughness, fatigue resistance, stiffness and, of course, low density is very important. As you move into the warmer sections of the engine, creep strength becomes a dominant design factor.



Slide No. 3



Slide No. 4

In the future (Slide No.5) the choice of materials of constructions of airframes and engines is expected to be influenced by continued efforts to, first of all, reduce operating costs, and this generally means reduced weight; second to reduce the manufacturing costs, and this can be done through new technologies, such as super plastic forming, isothermal forging, diffusion bonding, net-shape castings. And the third factor is to meet new regulatory requirements that we have such as noise reduction and pollution control. These needs are continually requiring a readjustment in material considerations for aircraft. Slide No.6: shows usable strength as a function of temperature. Titanium alloy's sphere of influence is in the low temperature area. At higher temperatures the superbase alloys are used, while at very low temperatures aluminum base alloys are used. At one time each metal had its own distinct area of influence, but with the development of new materials such as advanced aluminum alloys and also carbon composites, we find that we are receiving competition from these new materials.

This material competition from advanced aluminum alloys and nickel-base alloys is healthy and will result in more efficient designs. But my message today is quite simple. Titanium will meet the challenge of new materials by offering new opportunities for design improvements, and I think this can be achieved two ways (Slide No. 7).

First, new alloys with improved properties, and second optimize existing titanium alloys.

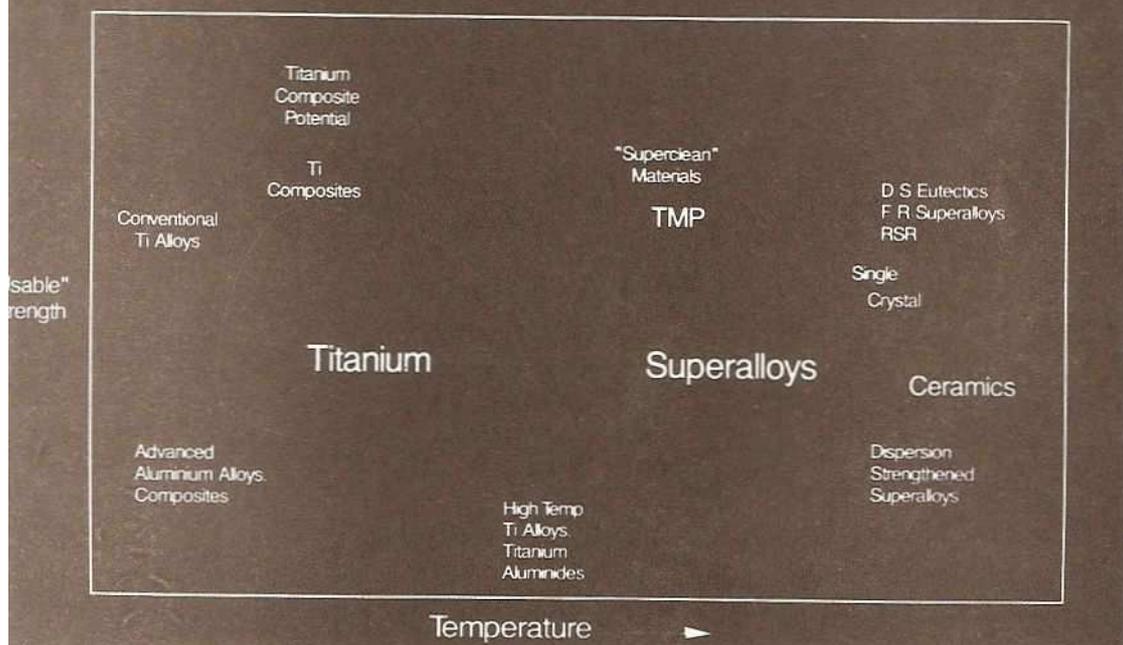
TRENDS IN MATERIALS USAGE

Driving forces for change

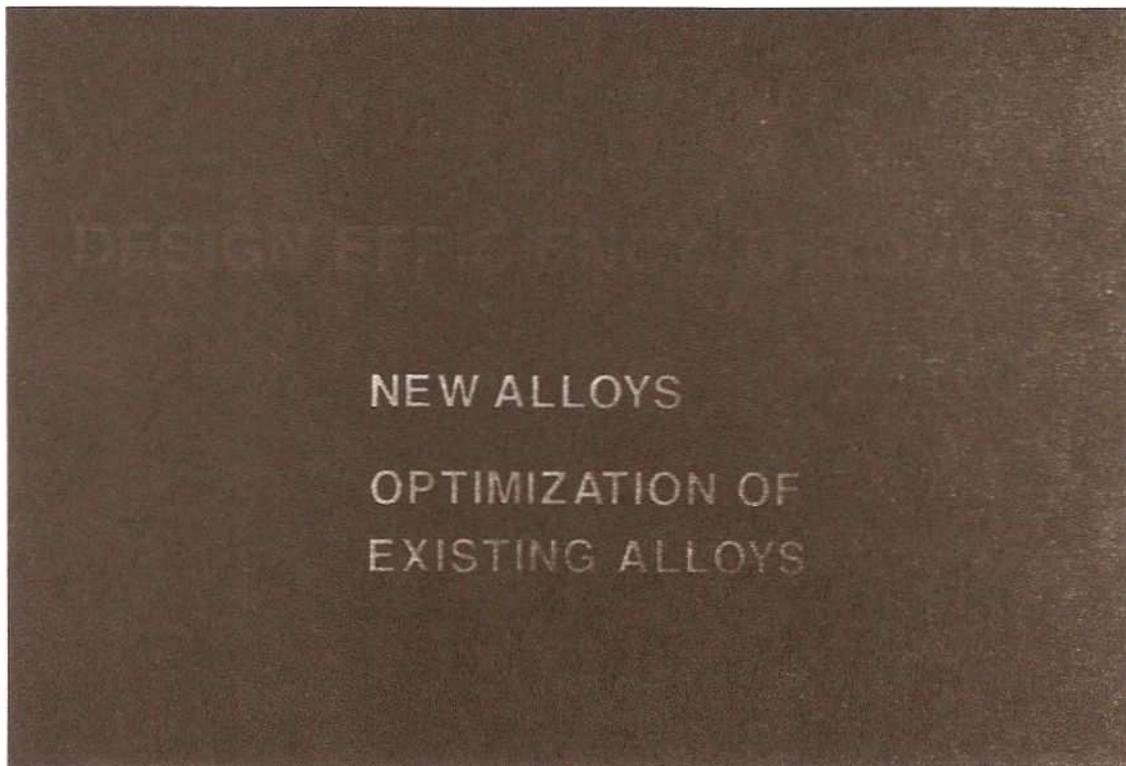
- Improved airplane performance/operating cost (weight)
- Reduced manufacturing cost
- Regulatory requirements

Slide No. 5

High Temperature Material Trends



Slide No. 6



Slide No. 7

I will briefly discuss these two subjects in the remaining portion of my presentation.

In discussing new titanium alloys (Slide No.8), I will cover three areas. I will provide a brief background on titanium alloys; and then review strength and toughness properties.

First, I would like to define very briefly the classification of titanium alloys.

As many of you know, titanium has two crystalline structures. At room temperature, there is the alpha structure (Slide No.9), which is hexagonal, and then at higher temperature in pure titanium it transforms to a body-centered cubic structure which is called the beta phase. By alloying, we can develop the beta phase at room temperature; we can also have the alpha phase at room temperature so we can have a third classification, where we have both the beta and alpha phase at room temperature. This is all done by alloying. So we now have three classifications of alloys: alpha alloy, beta alloy, and the mixture, alpha plus beta.

These are the original titanium alloys (Slide No. 10), and they date back about 20 years. The applications are in both airframes and engines. The alpha alloys are used primarily in engines, staters, spacers, and blades. The alpha-beta alloys are used in airframes; hydraulic tubing, and a beta alloy is used in springs and fasteners.

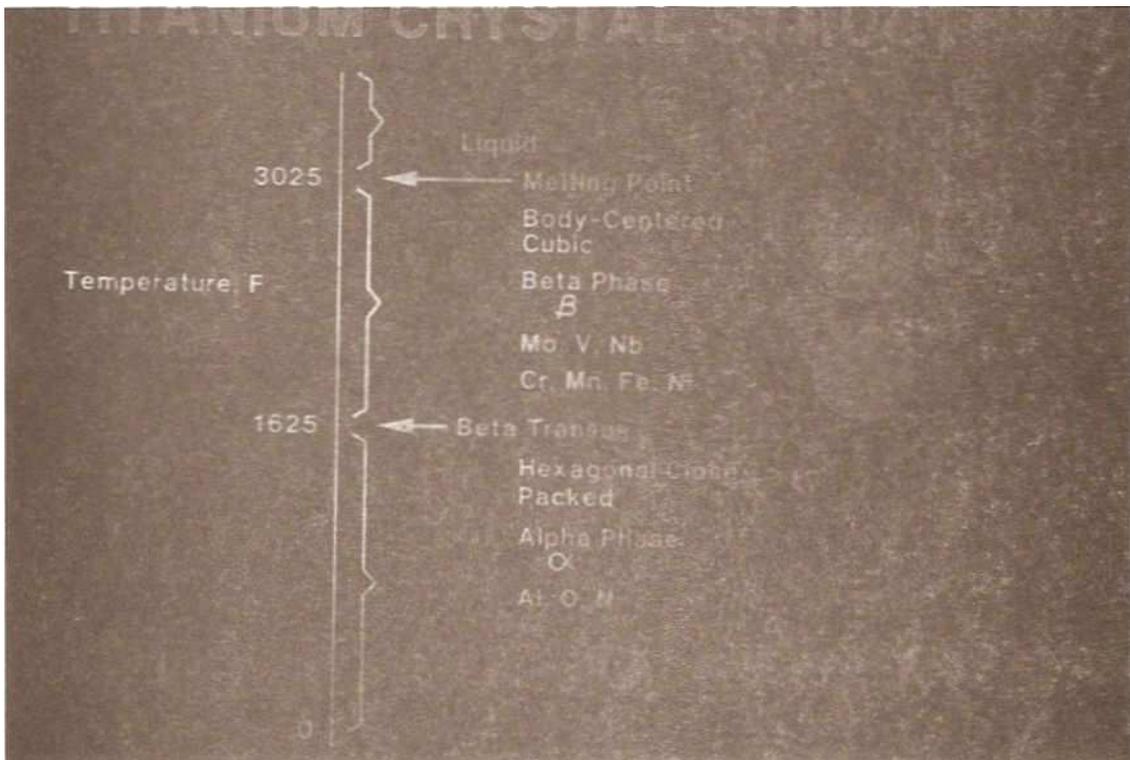
NEW ALLOYS

BACKGROUND

STRENGTH PROPERTIES

TOUGHNESS PROPERTIES

Slide No. 8



Slide No. 9

TITANIUM ALLOYS

ALLOY TYPE	ALLOY	APPLICATION
α	Ti-5Al-2.5Sn Ti-8Al-1Mo-1V	Stator rings, spacers Blades
$\alpha+\beta$	Ti-3Al-2.5V Ti-6Al-4V Ti-6Al-6V-2Sn	Hydraulic tubing Airframe Airframe
β	Ti-13V-11Cr-3Al	Spring/fasteners

Slide No. 10

More recently new alloys have been added to the current alloys (Slide No. 11). For the Alpha Alloys, a six-two-four-two alloy is used at higher temperatures in blades and compressors. For the Alpha-Beta, two alloys have been added, a six-two-four-six, which is primarily used in Pratt-Whitney engines; and a Ti-17 which is used in General Electric Engines for very critical parts such as compressor discs.

The next slide (Slide No.12) will show the newest generation of developmental alloys. We have, as you can see in the Alpha Alloys, a very unique alloy, which is known as a Titanium Aluminide. No new Alpha Beta alloys, but there is a host of new Beta alloys; there is a 10 Vanadium, 2 Iron, 3 Aluminum for airframes used primarily as forgings. Another alloy, 15 Vanadium, 3 Chromium, 3 Tin, 3 Aluminum, again in airframe applications. It's a sheet alloy, highly formable. Beta-C alloy, being used now in spring and fastener applications, is a high strength alloy, a developmental alloy. Transage developed by Lockheed Corporation, is aimed at airframe, but has very limited use thus far.

Now let's actually compare the properties of these alloys (Slide No. 13) with other metals utilizing specific strength as a function of temperature. kg/dm^3 , some steels, and two of the earlier Titanium alloys 8-1-1 and 6-4.

TITANIUM ALLOYS

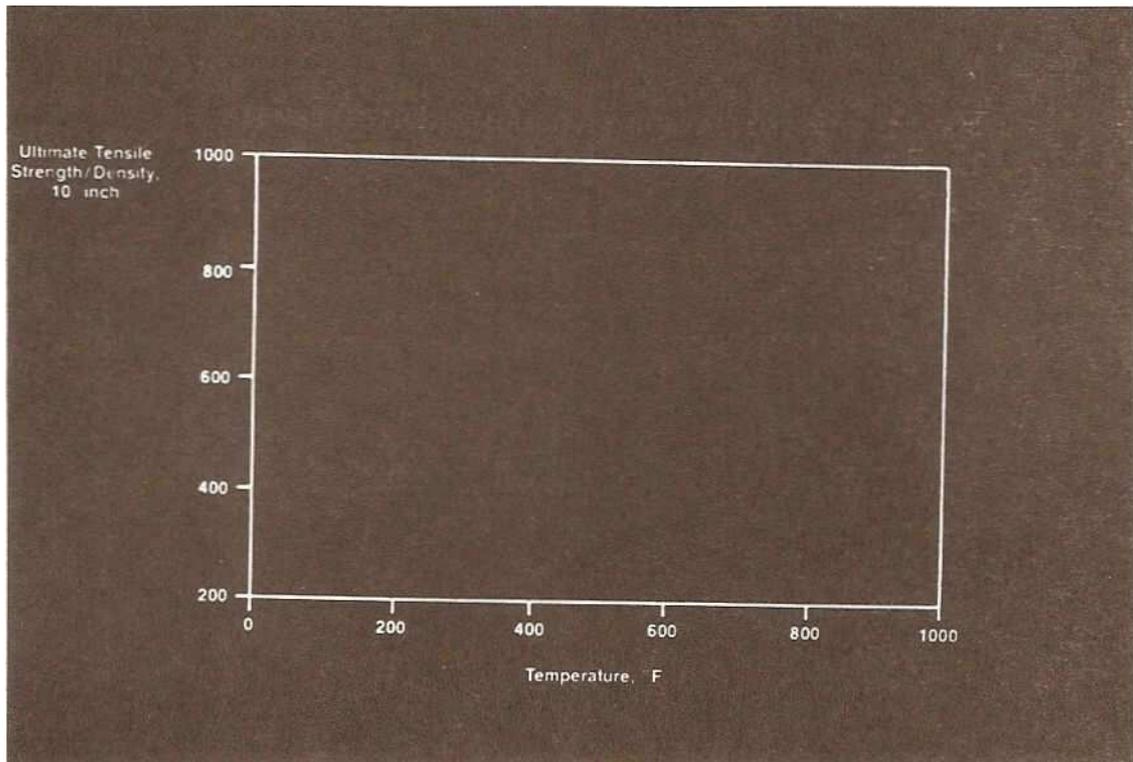
ALLOY TYPE	ALLOY	APPLICATION
	Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo-.09Si	Blades, compressor
	Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo	Compressor disc
	Ti-17	Compressor disc

Slide No. 11

TITANIUM ALLOYS

ALLOY TYPE	ALLOY	APPLICATION
	Ti-5Al-2.5Sn	Stator rings, engine
	Ti-8Al-1Mo-1V	Blades
	Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo-.09Si	Blades, compressor
	Ti-14Al-21Nb	Engine
	Ti-3Al-2.5V	Hydraulic tubing
	Ti-6Al-4V	Airframe
	Ti-6Al-6V-2Sn	Airframe
	Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo	Compressor disc
	Ti-17	Compressor disc
	Ti-13V-11Cr-3Al	Spring, fasteners
	Ti-10V-2Fe-3Al	Airframe
	Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al	Airframe
	Beta-C	Spring/fasteners
	Transage	Airframe

Slide No. 12



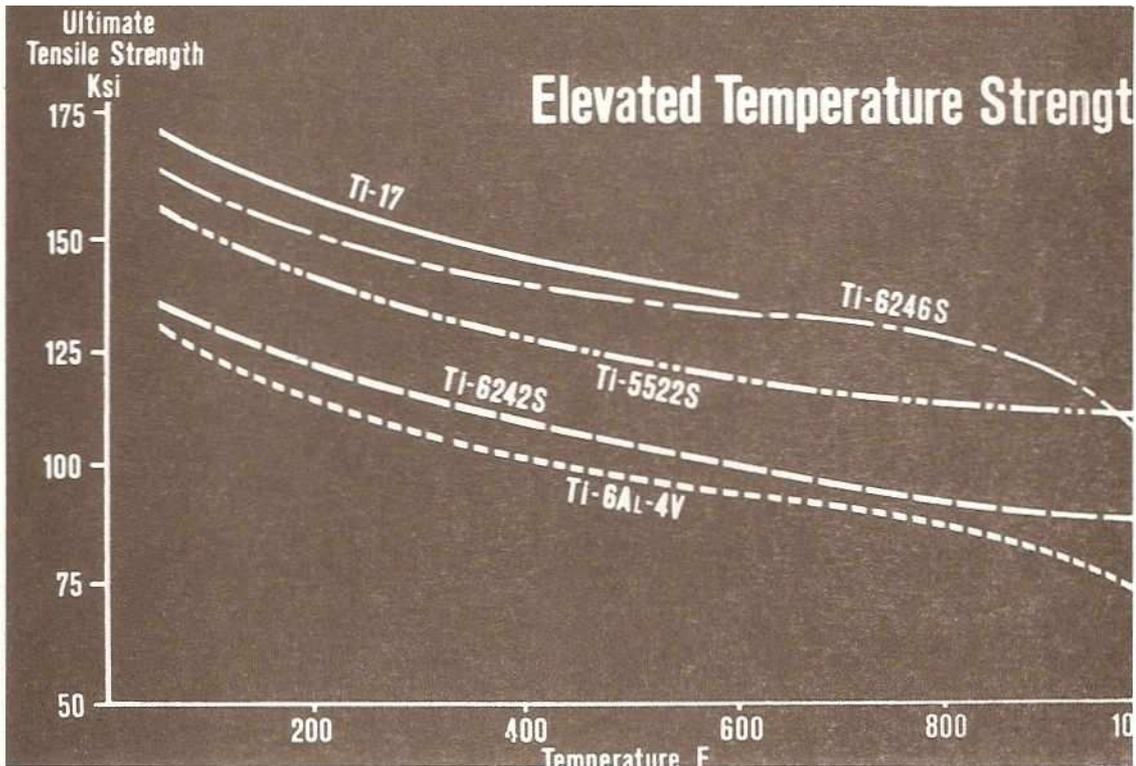
Slide No. 13

The titanium alloy, Ti-6Al-4V, has significantly better efficiency than the steels. The interesting aspect is that this alloy is often used as comparison for new materials including new aluminum alloys. However, Ti-6Al-4V is a moderately low-strength titanium alloy, Slide No. 14, is a similar plot. There are several new alloys such as Ti-17, Ti-6-2-4-6 that have appreciatively higher strength. These alloys are now being used in airframe and engine applications.

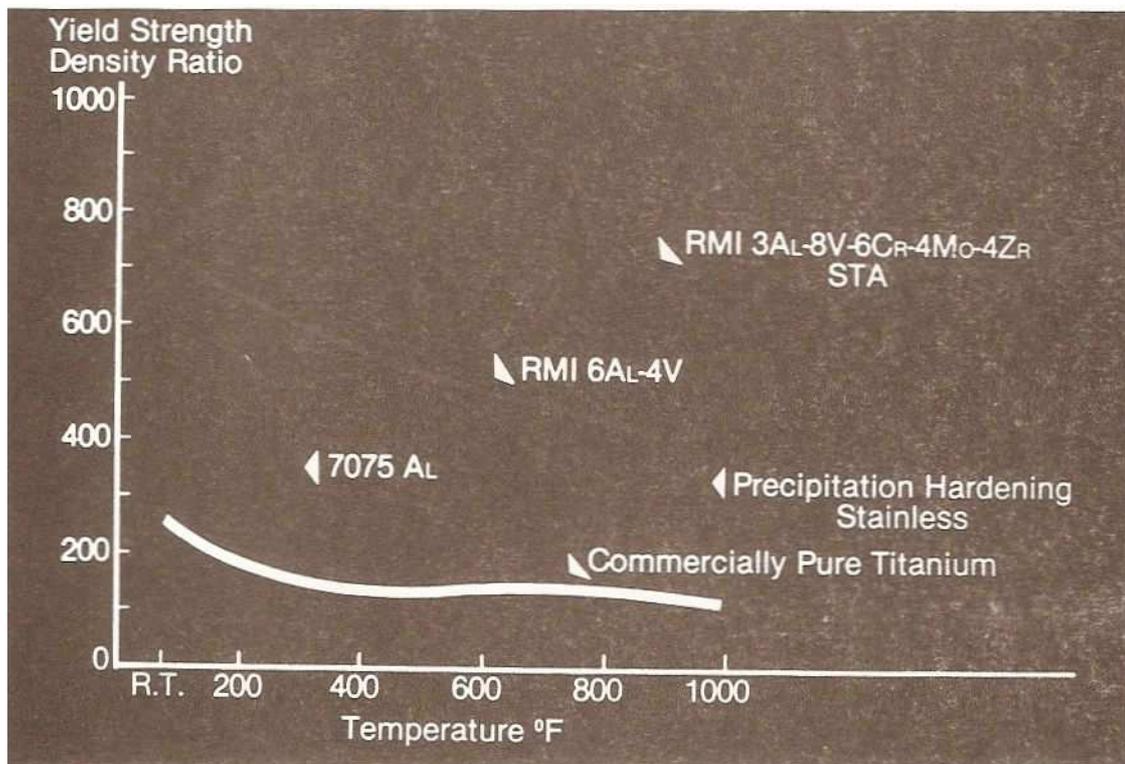
Now let's see how these high strength alloys compare (No. 15) with other materials base on density adjustment. Pure Titanium, is very low strength. Again, Ti-6Al-4V is similar to the precipitation hardening stainless steels, and the aluminum alloys drop off in strength very rapidly at moderately high temperatures. The new generation of Titanium alloys are approximately 20 to 30 percent higher strength.

As temperature is increased, creep strength becomes an important design criteria, as we see in the next slide. (Slide No. 16).

Shown on this graph is the short-term ultimate strength and the long-time creep strength.



Slide No. 14



Slide No. 15

ELEVATED TEMPERATURE DESIGN DATA

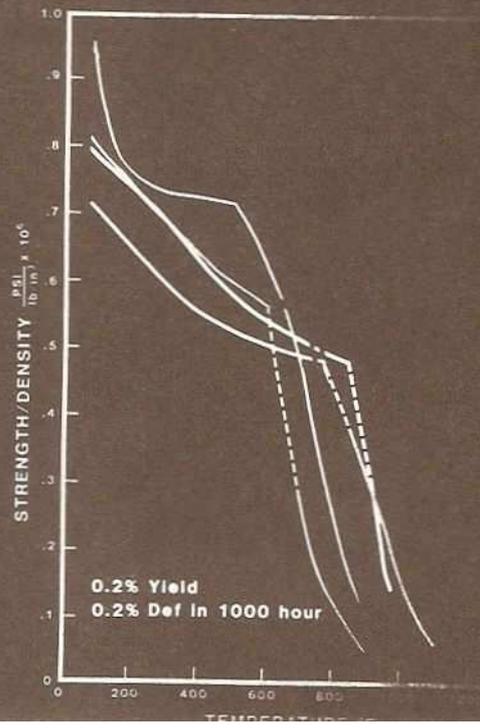
Ti-6246

Ti-17

Ti-811

Ti-6242Si

Ti-6-4

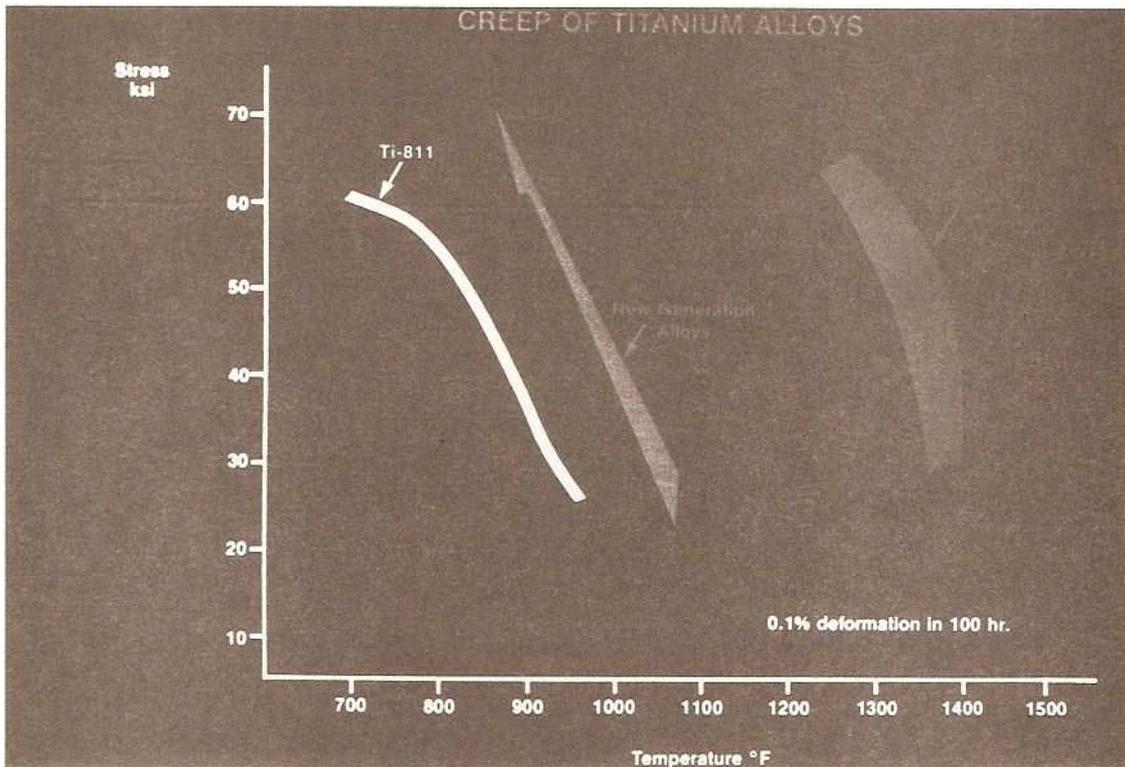


Slide No. 16

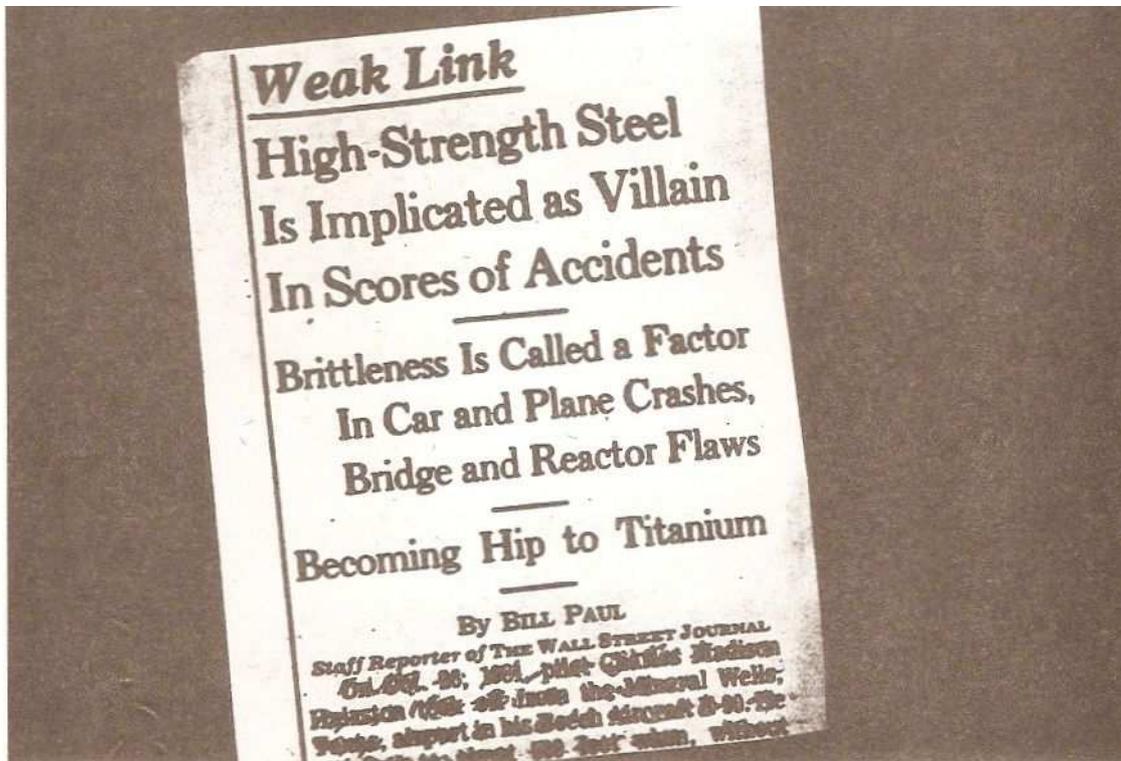
Where these two curves intersect is the point where creep must be considered in design. Below this intersect tensile strength is dominant; above this area, creep strength becomes the dominant design feature. This is in the area of approximately 600 Fahrenheit where this change occurs. Ideally we would like both high tensile and high creep strength materials.

The next slide (Slide No. 17) shows improved creep resistant alloys. Ti-6Al-4V, has moderate strength while Ti 6-2-4-2, is the best of the current commercial alloys. There is a new generation of Titanium alloys, IMI alloys, that offer a slight improvement in creep strength and are being utilized by Rolls Royce, there is some interest in these alloys in U.S.A. But the new Titanium Aluminides offer a very dramatic improvement in high-temperature characteristics. These alloys, we expect to see in jet engines of the nineties.

We have talked about the high specific strength of Titanium alloys. I would like to move to the next slide (Slide No. 18) and relate strength to toughness. This was a headline article in one of our financial papers, The Wall Street Journal. It discusses all the high-strength failures that are occurring in steel, and they were suggesting in this article that designers ought to look to Titanium for improved toughness.



Slide No. 17

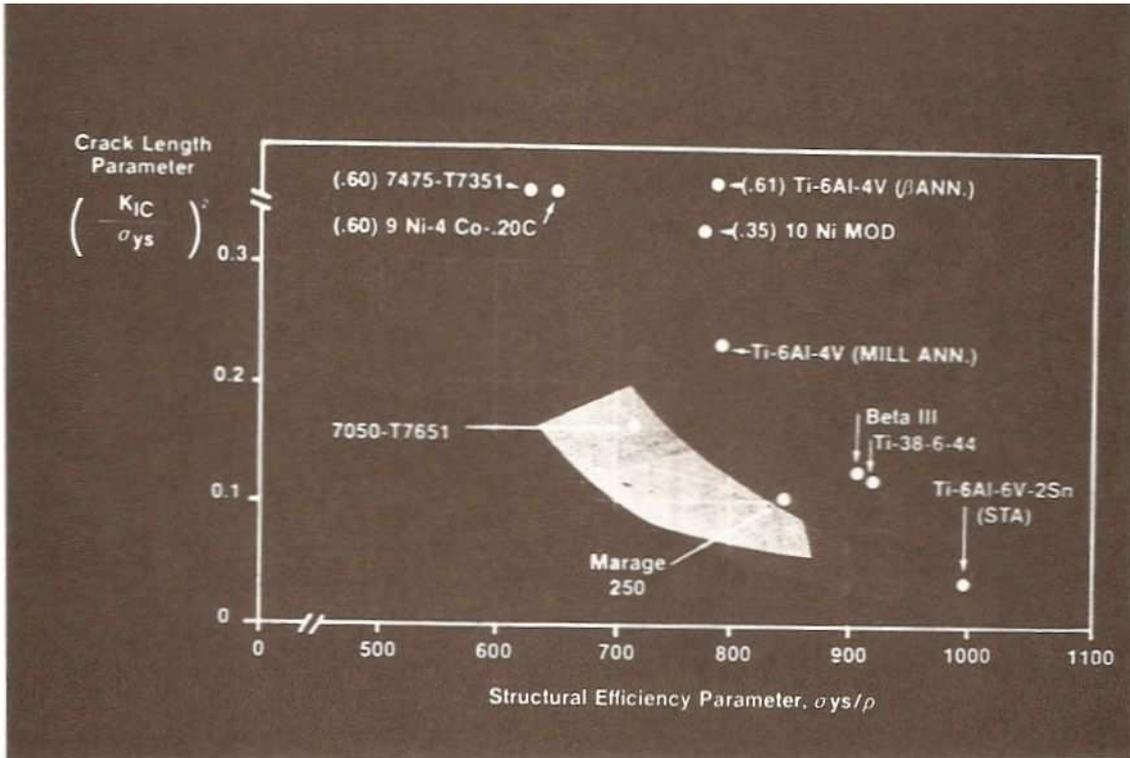


Slide No. 18

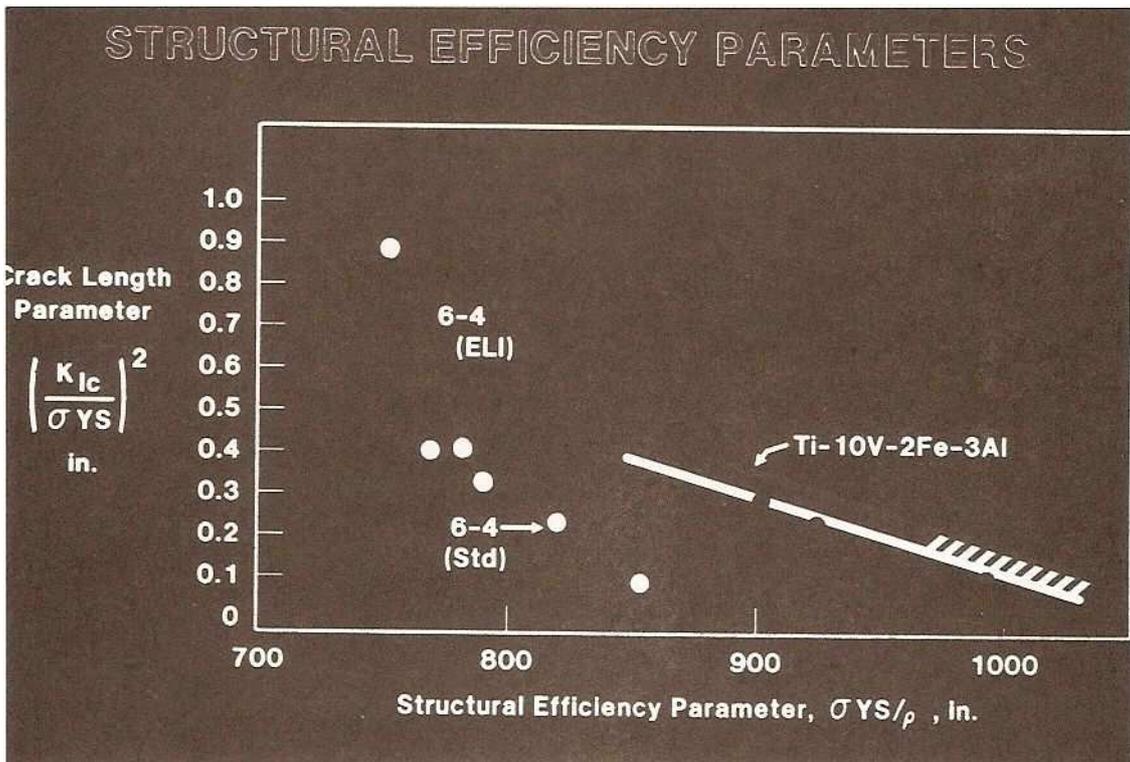
Titanium does have very good toughness. In slide 19 the tolerable crack length is shown as a function of specific strength. For a given strength you can see that the tolerable crack size is much larger for Titanium base alloys indicating very good toughness compared to steels and aluminum.

The next slide (Slide No. 20) shows more detailed data for specific Titanium alloys in a similar manner. Included in this is the standard material that has been used in airframe and in engines, Ti-6Al-4V alloy in a variety of different conditions. Also included is some of the newer alloys: 6-2-4-6, TI-17, Beta-C and 10-2-3. These alloys have improved toughness compared to Ti-6Al-4V.

The second area of improvement in design (Slide No. 21) is merely optimizing older alloys to improve the characteristics of these alloys. I will just show you an example of a Ti-6Al-4V alloy. Slide No. 22 shows the



Slide No. 19

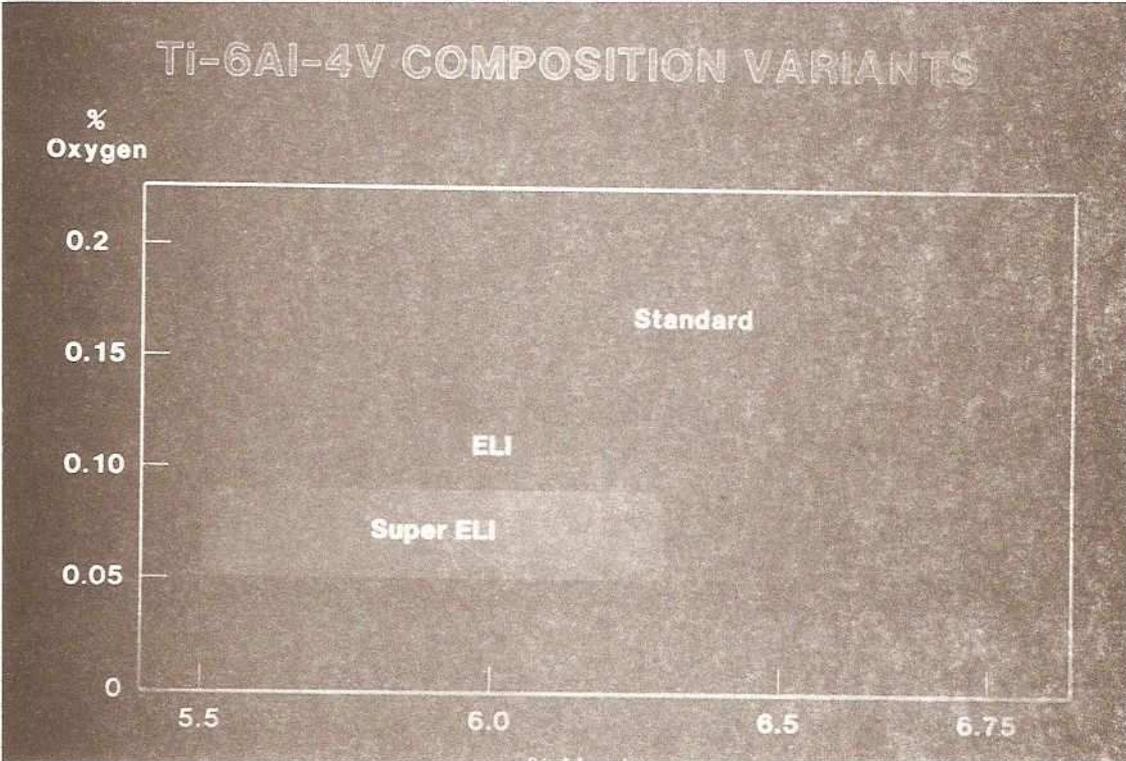


Slide No. 20

ALLOY OPTIMIZATION

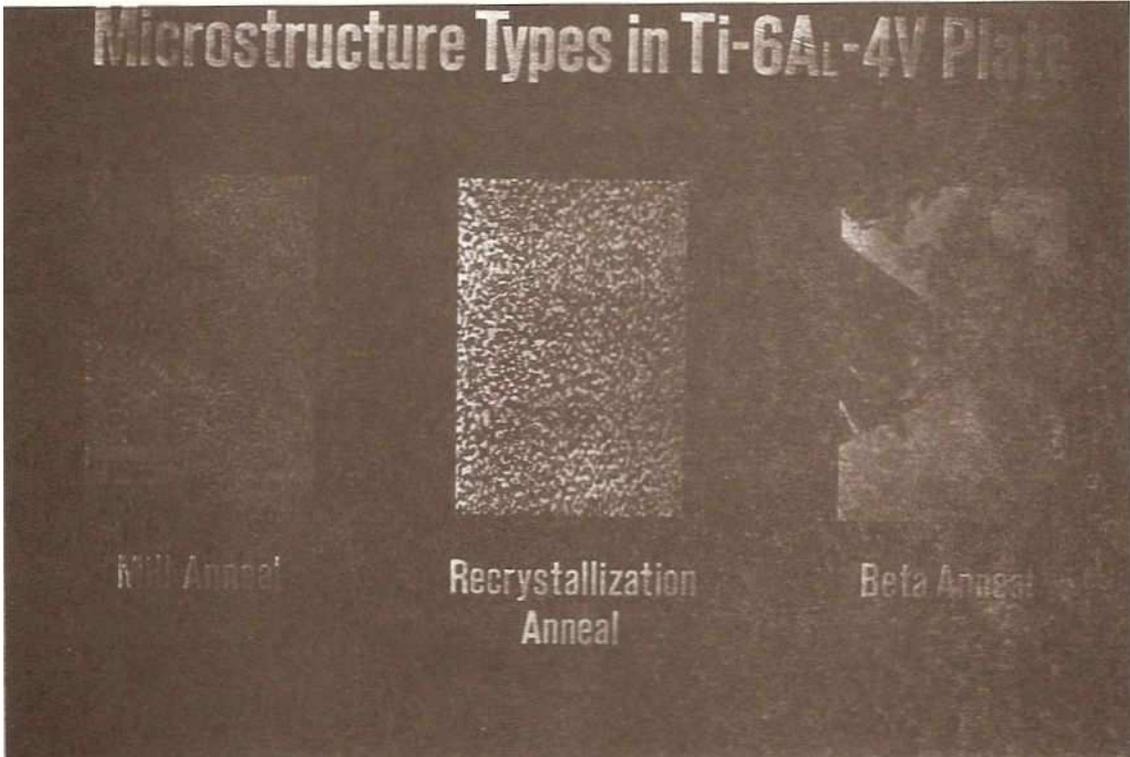
Ti-6Al-4V

Slide No. 21

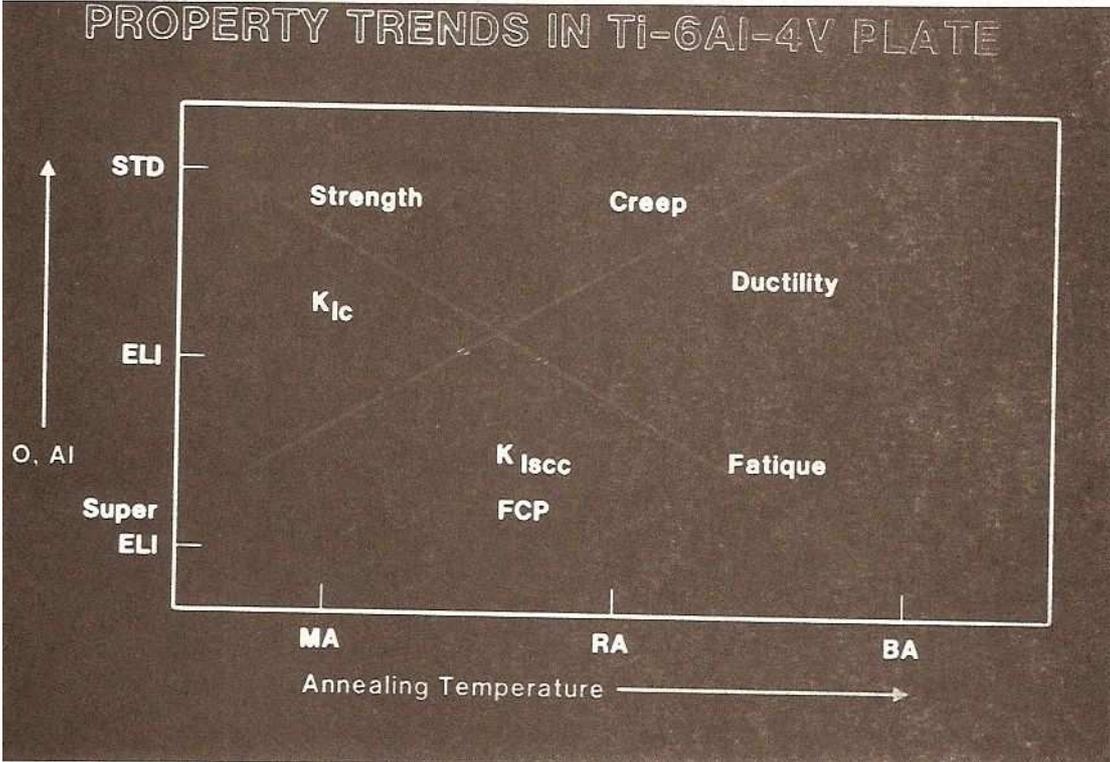


Slide No. 22

various compositions of the Ti-6Al-4V. The aluminum content in the specifications can range from 6.5 to 6.75% aluminum and the oxygen can range up to 0.2%. The Titanium producers now control these compositions very accurately, and as a result we have several 6-4 alloys: a standard grade, an ELI, which means extra low interstitial, and a super ELI. So we have three different 6 Aluminum 4 Vanadium alloys. We add to this chemical control our ability to manipulate microstructure as shown in the next slide (No. 23). For any one of those compositions, we can obtain microstructures through low-temperature annealing, by moderately high-temperature annealing or by a very high-temperature annealing. As a result, as shown in the next slide (No. 24), by manipulating the annealing temperature and the composition, we can adjust properties. Unfortunately we do not optimize all the properties with one composition or one annealing treatment, so it is always a compromise. I have indicated trends in this slide as we increase annealing temperature and change composition. Different properties can be achieved for special applications such as helicopter, rotor hubs, and bomber airframes. Today, we can produce at least nine different versions of 6-4, depending on the design requirements.



Slide No. 23



Slide No. 24

Slide No. 25 shows the range of properties that can be achieved by manipulation of composition and structure, Strength could be as low as a 113 KSI to as high as 138. Fracture toughness from 45, to 90 ksi in. Unfortunately, we cannot have high toughness with the high strength. A compromise is always necessary.

In summary (Slide No. 26), the designer has available improved design possibilities by utilizing the ability to more accurately control microstructure and composition of existing alloys. In addition there is a whole host of new Titanium alloys which offer the designer improved characteristics in strength as well as in toughness. Now let's review the Titanium trends that I discussed earlier, and see where this leads us.

Slide No. 27 is similar to an earlier slide. Titanium is used at moderate temperatures slightly lower than super alloys. Because of the development of Titanium Aluminides, we anticipate Titanium being used at higher temperatures, but in the low stress area. We expect the threat of carbon composites at the low temperature area. In addition, we see the possibility of advanced aluminum alloys, powders and composites, in the low-strength side, low temperature side. However we expect to extend the usefulness of Titanium through newer high strength alloys and through new developments in Super Clean

AVERAGE ROOM TEMPERATURE
PROPERTY RANGE
FOR
Ti-6Al-4V

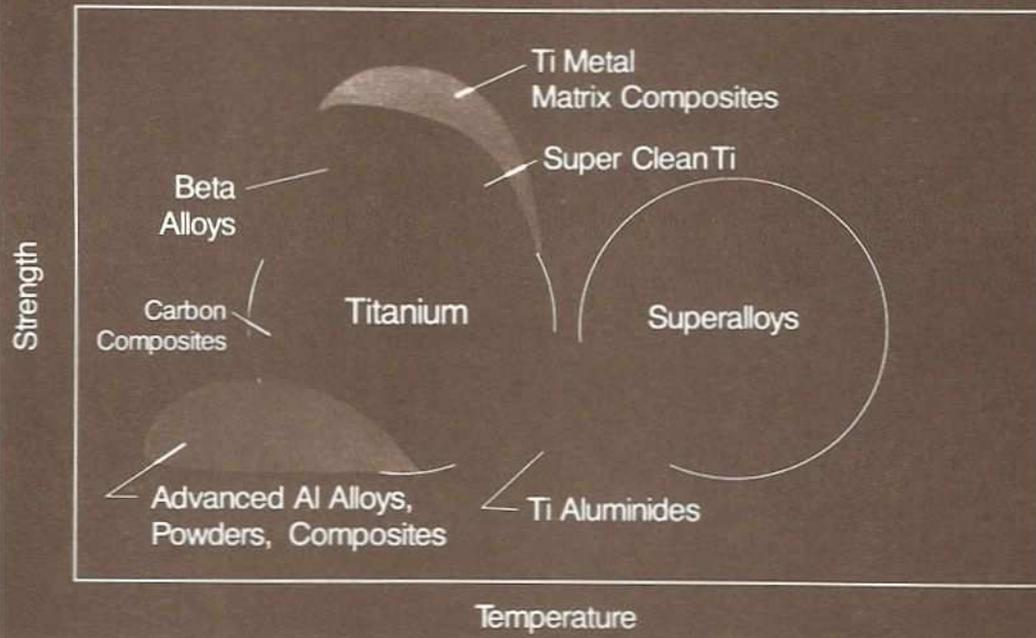
	LOW	HIGH
YIELD STRENGTH Ksi	113	138
$K_{IC}, \text{Ksi}(\text{in})^{-1/2}$	45	> 100

Slide No. 25

IMPROVED DESIGN CAPABILITY
BY
REDEFINING DESIGN PARAMETERS
OF CURRENT ALLOYS
USING NEW TITANIUM ALLOYS

Slide No. 26

Titanium Trends



Slide No. 27

Titanium where a defect-free material allows the designer to utilize higher stresses. Current development work occurring in Titanium-Metal-Matrix composites offers even further improvements in strength. I have attempted to provide a background in design requirements and the competitive environment for Titanium alloys in aerospace applications. Today Titanium has been very successfully utilized in this application; and we expect continued applications in the future as a result of improved alloys and improved processes to produce these alloys. Thank you.

Sig. Alberto Vitaloni
Vitaloni Group
APPLICAZIONI AUTO-MOTO

La nostra impresa opera dal 1929 nella Componentistica Automobilistica e ha sempre ricercato nei settori di suo interesse e competenza prodotti collegati alla sicurezza dell'utente, e tecnologicamente innovativi.

Siamo pertanto particolarmente sensibili alle tecnologie avanzate che ci consentono la soluzione dei problemi tecnologici connessi allo sviluppo, in questa direzione, dei nostri prodotti.

Ed è in quest'ottica di sviluppo e sicurezza che si intende l'utilizzazione del titanio in due dei nostri prodotti più recenti:

- il casco DERAPAGE H2
- il seggiolino portabimbi multiuso KEDDI VITALONI

Nel primo l'adozione è relativa ad una bandella, strutturale, inserita nella mentoniera, bandella che, grazie al connubio "resistenza, leggerezza, inattaccabilità agli agenti atmosferici, elevato modulo elastico" del titanio ci consente di avere un casco robusto, affidabile, sicuro, concepito in modo da soddisfare tutte le omologazioni mondiali; in conformità però delle caratteristiche di leggerezza che il mercato richiede.

Per quanto riguarda il seggiolino KEDDI VITALONI abbiamo invece allo studio l'adozione del titanio nelle staffe di fissaggio dello stesso all'auto, in modo da ridurre il peso che la mamma deve spostare nel rispetto, anzi,

nell'aumento delle più assolute caratteristiche di sicurezza e resistenza che a questo prodotto vengono richieste.

In entrambi i casi ci siamo però trovati di fronte a costi di manufatto estremamente elevati che derivano, secondo un nostro esame, da una sommatoria di fattori tutti, quantomeno parzialmente drogati.

Non esistono infatti giustificazioni, in chiave teorica, per cui il costo di un prodotto finito, realizzato in titanio e progettato sfruttando concettualmente le caratteristiche di questo materiale, non sia compatibile con lo stesso prodotto realizzato in acciaio inossidabile. E' basandoci su questa filosofia che stiamo, ovviamente non a breve ma a medio termine, investendo e sviluppando prodotti con componenti in titanio, viste le caratteristiche peculiari di questo materiale, ma vista soprattutto la sua intrinseca sicurezza.

Naturalmente abbiamo incontrato molte difficoltà a far accettare ai trasformatori il titanio come materiale normale con la conseguenza di aggravare, in termini di costi i vari passaggi delle trasformazioni.

Stiamo cercando di superare questa barriera attraverso nostre ricerche e sviluppi che stanno dando ottimi frutti, anche come stimolo e confronto con i nostri partner esterni, facendo diventare il titanio non più un materiale tecnologicamente esclusivo riservato a pochi eletti, ma un materiale altamente tecnologico alternativo che consente realmente nuovi concetti di progettazione e di reindustrializzazione del prodotto.

Stiamo lavorando intensamente in questa direzione e riteniamo che in 3-5 anni, nel mediotermine quindi,

potremo già verificare una inversione di tendenza significativa rispetto all'attuale atteggiamento nei confronti di questo materiale così disponibile come risorse materiali a livello nazionale ed internazionale, scalzando quello scetticismo e quei pregiudizi che trattengono l'innescarsi di consumi significativi occorrenti ad ottenere le necessarie economie di scala che rendano effettivamente e completamente utilizzabile il materiale.

Stiamo investendo nella ricerca e nello sviluppo del titanio, nelle sue tecnologie ed applicazioni per arrivare a conoscerlo al meglio, nella certezza che l'acquisizione di Know How, proiettata nel futuro del medio termine, si rivelerà sicuramente vincente nel confronto tecnologico con il mondo e la competizione industriale sui mercati internazionali.

Dr. K. Rüdinger

Contimet

EFFECT OF THE COMPOSITION OF FILLER WIRE ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF COMMERCIALY PURE AND PALLADIUM ALLOYED TITANIUM WELDMENTS.

Introduction

From practical experience and basic literature is known that titanium can be joined by argon-arc welding with excellent results, if appropriate settings and gas shielding are applied (1, 2, 3). A great number of shops is welding titanium today according to VdTÜV and ASME regulations for pressure vessels in the chemical industry. They consume considerable quantities of filler wire for single and multiple layer weldments. While the properties of sheet weldments were comprehensively studied (4, 5, 6, 7), test results on plate weldments of commercially pure titanium and equivalent TiPb 0,15 grades were insufficient for approval by VdTÜV. The purpose of this investigation was therefore, to study the effect of filler wire on plate weldments of both materials made under shop conditions.

Parent Materials and Filler Wire

In accordance to common specifications, for this investigation always parent material (up to 17 mm thick plates) and filler wire (from 2 to 5 mm dia) of the same grade were used. Selected were two grades of commercially pure titanium, DIN Ti 3.7035 (ASTM grade 2) as the most

widely used grade, and Ti 3.7055 (ASTM grade 3) as the special grade for pressure vessels. From the Ti 0,15 Pd alloy with growing application because of its improved corrosion resistance, the grades Ti 3.7025 + Pd, Ti 3.7035 + Pd (ASTM grade 7) and Ti 3.7055 + Pd were selected.

All materials were taken from normal mill production, delivered in the annealed, descaled and pickled condition. The chemical composition of the materials can be seen from Table 1. All requirements of the relevant specification DIN 17 850 and VdTÜV 230 (8) are met. The oxygen, being added to reach the desired strength level, and the impurities like carbon, nitrogen and hydrogen vary only as usual within individual ingots and from heat to heat.

To evaluate the influence of iron on the properties of welds, heats with iron contents from 0,040 to 0,160% were chosen. The palladium content of Ti 0,15 Pd was between 0,16 and 0,23%.

Results of the mechanical properties and the hardness of parent material and filler wire are given in Table 2. For plates the test direction was mostly transverse (LT) to the rolling direction. The results are according to the specification DIN 17 860. The Vickers hardness shown in the average 148 HV 10 for Ti 3.7025, 188 HV 10 for Ti 3.7035 and 230 HV 10 for Ti 3.7055. There are no noteworthy differences of mechanical properties and hardness values of commercially pure titanium and equivalent grades of Ti 0,15 Pd.

Typical microstructures are shown in Figure 1 for the plates and in figure 2, 3, 4, for filler wire. Both materials have a completely recrystallized microstructure of the alpha matrix. The grain size shows only minor differences depending on the dimension of the products. Higher iron content and the added palladium cause higher amounts of beta phase in the alpha matrix.

Table 1 - Chemical Composition of Filler Wire and Parent Material

Material DIN 17850	Dimension (mm)	Chemical Composition, Weight %						
		Fe	O	N	C	H	Pd	Ti
Ti 3.7055	3,0φ	0,041	0,14	0,010	0,015	0,0033	-	Balance
Ti 3.7055	4,0φ	0,130	0,21	0,027	0,008	0,0027	-	"
Ti 3.7025 + Pd	2,0/5,0φ	0,062	0,07	0,006	0,010	0,0023	0,23	"
	11	0,040	0,09	0,008	0,015	0,0020	0,16	"
Ti 3.7035 + Pd	3,0φ	0,065	0,14	0,009	0,008	0,0032	0,18	"
	9	0,070	0,13	0,015	0,009	0,0039	0,19	"
Ti 3.7055 + Pd	3,0φ	0,160	0,17	0,020	0,019	0,0028	0,18	"
	9	0,040	0,18	0,009	0,005	0,0028	0,22	"
Ti 3.7025(+ Pd)	Require	≤0,20	-0,10	≤0,05	≤0,08	≤0,013	-	Balance
Ti 3.7035(+ Pd)	ments	≤0,25	-0,20	≤0,06	≤0,08	≤0,013	-	"
Ti 3.7055(+ Pd)	DIN 17850	≤0,30	-0,25	≤0,06	≤0,10	≤0,013	-	"

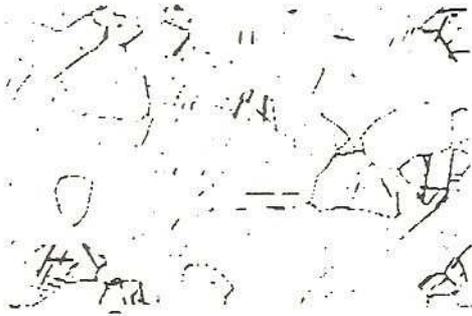
Table 2 - Mechanical Properties and Hardness of Filler Wire and Parent Material, Annealed at 700° C/AC

Material	Dimension (mm)	Test Direction	Mechanical Properties			Hardness HV 10
			R _{P1} N/mm ²	R _m N/mm ²	A ₅ %	
Ti 3.7035	3,0φ	L	314	441	28,9	186
Ti 3.7055	4,0φ	L	474	585	25,0	244
Ti 3.7025 + Pd	2,0φ	L	278	357	32,5	152
	5,0φ	L	342	393	31,5	160
Ti 3.7035 + Pd	11	LT	248	310	37,0	131
	3,0φ	L	429	487	26,5	187
Ti 3.7055 + Pd	9	LT	415	493	26,4	191
	3,0φ	L	463	581	24,8	245
	9	L	467	593	21,8)	203
		LT	478	540	23,6)	

L = Longitudinal to forming direction

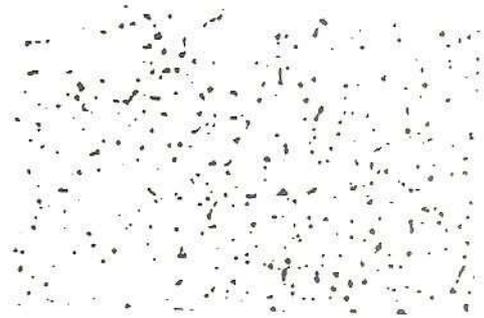
LT = Trasverse to forming direction

Fig. 1 Ti 3.7035 + Pd



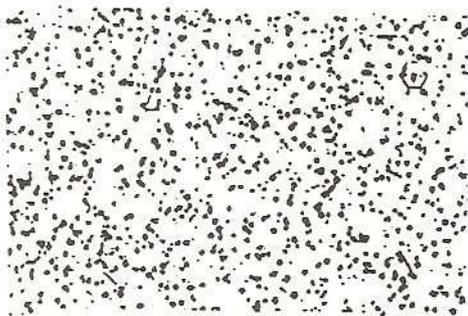
Parent Material

Fig. 2 Ti 3.7025 + Pd



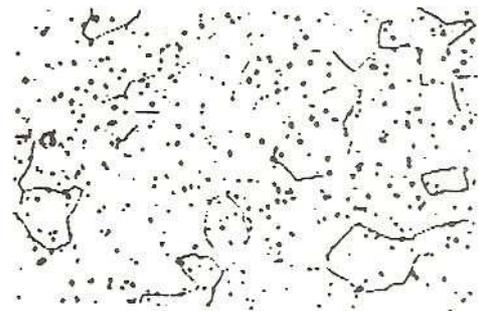
Filler Wire 2,0 mm Ø

Fig. 3 Ti 3.7055 + Pd



Filler Wire 3,0 mm Ø

Fig. 4 Ti 3.7055



Filler Wire 4,0 mm Ø

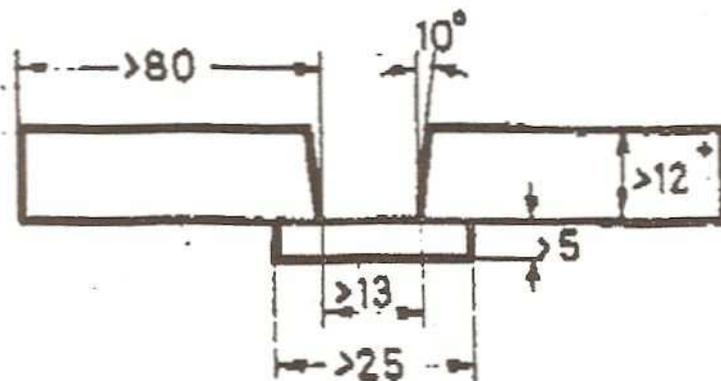
Welding Procedure and Testing

The test program provided two types of weldments. For evaluating the fused material, LW samples were taken only from the welds of 13 and 17 mm thick plates, as shown in figure 5, following VdTÜV specification (9).

The samples were TIG-welded by hand with 3 and 5 mm filler wire in 12 to 16 passes. The welding current was between 150 and 280 A. The argon flow in the nozzle was 6 l/min, in the shielding jig on top of the joint 30 to 50 l/min and at the root 30 l/min. These conform to standard practice (1). The welding was carried out with shop equipment under shop conditions.

For the across-weld evaluation 9 and 11 mm thick plates with a 60° V-edge and 2 mm gap were TIG-welded in 4 to 5 layers using 2 or 3 mm filler wire. The welding current was set to 150 to 265 A. All other welding and shielding conditions, including argon consumption, were as described above.

Fig. 5 Sample for Evaluating
Fusion Zone of Welded
Plate acc. to VdTUV 1153

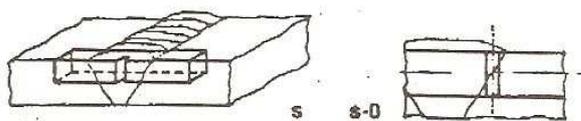


Test Samples and Testing

The mechanical properties of fusion zones were determined on specimens taken longitudinally to the welding direction (LW).

The impact strength specimens were taken transverse to the welding direction (TW) with vertical notches in the middle of the joints according to DIN 50122 specification (Fig. 6). Two types of specimens, DVM and ISO according to DIN 50115 (Fig. 7) were used. The across-weld test pieces were taken according to Fig. 8.

Fig. 6
Notch Position of Impact
Specimens acc. to DIN 50122



S = Notch in fusion zone
S-Ü = Notch in heat-affected zone

Fig. 7
Impact Specimens acc.
to DIN 50115

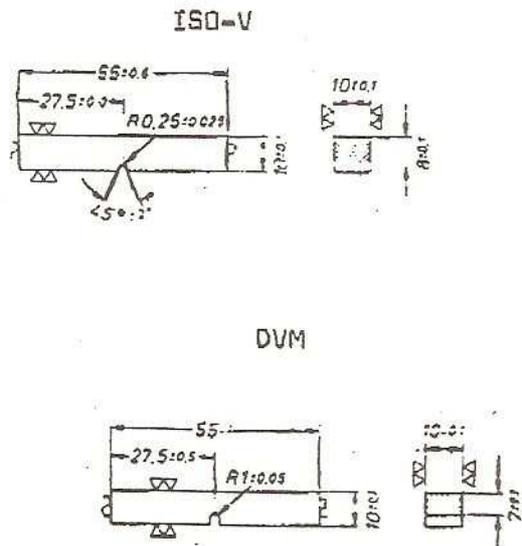
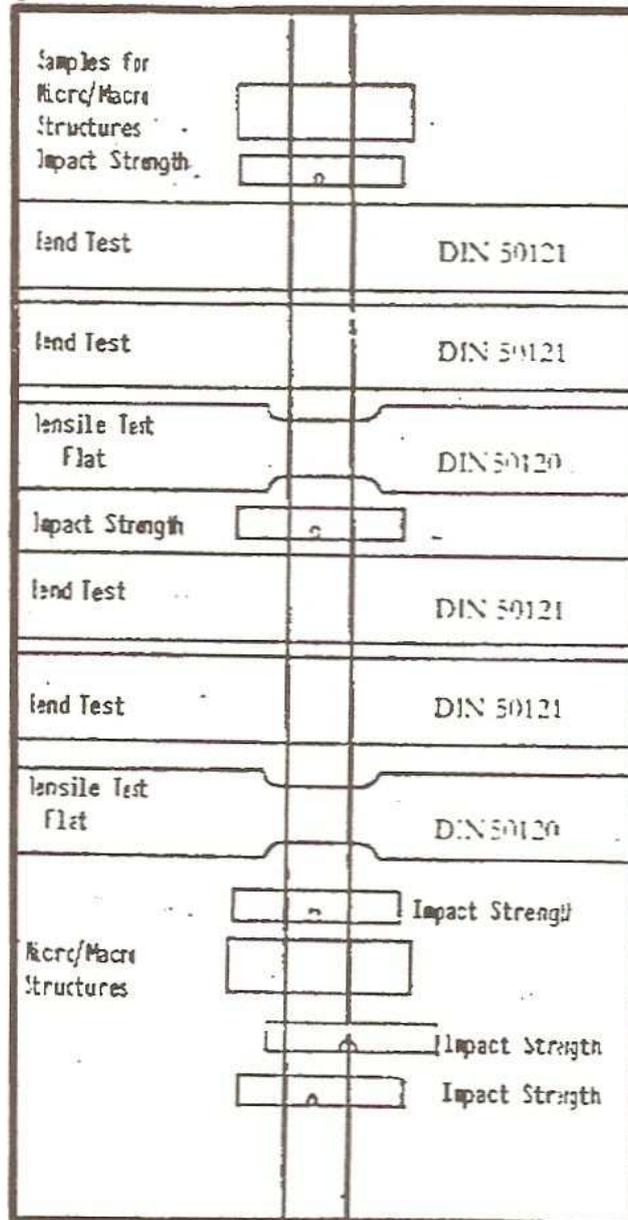


Fig. 8 Test Samples of Weld Joints



Test Results

The x-ray inspection proved the high quality of the welds with no root defects and no or only occasional minor pores.

Chemical Composition of Fusion Zone The chemical composition of the fusion zone is illustrated in Table 3.

A comparison with the filler wire shows no significant difference for iron and palladium. For carbon and nitrogen there is in some cases a slightly increasing tendency. The oxygen remains unaffected. In any case, the analysed composition does not exceed maximum values of the DIN specification.

Mechanical Properties of Fusion Zone; the results are presented in Figures 9 to 11.

Table 3: Chemical Composition of Filler Wire and Corresponding Weldment

Material DIN	Dimension of Filler Wire (mm)	Chemical Composition, Weight %														
		Fe	C	O	N	H	Pd	Ti	Fe	C	O	N	H	Pd	Ti	
17850																
Ti 3.7035	3,0φ	0,041	0,015	0,14	0,010	0,0033	-	Balance	0,068	0,018	0,13	0,009	0,0030	-	Balance	
Ti 3.7055	4,0φ	0,13	0,008	0,21	0,027	0,0027	-	"	0,14	0,021	0,21	0,035	0,0026	-	"	
Ti 3.7025 + Pd	2,0+ 5,0φ	0,062	0,010	0,07	0,006	0,0023	0,23	"	0,055	0,016	0,07	0,011	0,0026	0,17	"	
Ti 3.7035 + Pd	3,0φ	0,065	0,008	0,14	0,009	0,0032	0,18	"	0,060	0,018	0,14	0,015	0,0048	0,19	"	
Ti 3.7055 + Pd	3,0φ	0,16	0,019	0,17	0,020	0,028	0,18	"	0,16	0,018	0,19	0,019	0,0033	0,19	"	

1) Average of 2 - 4 values

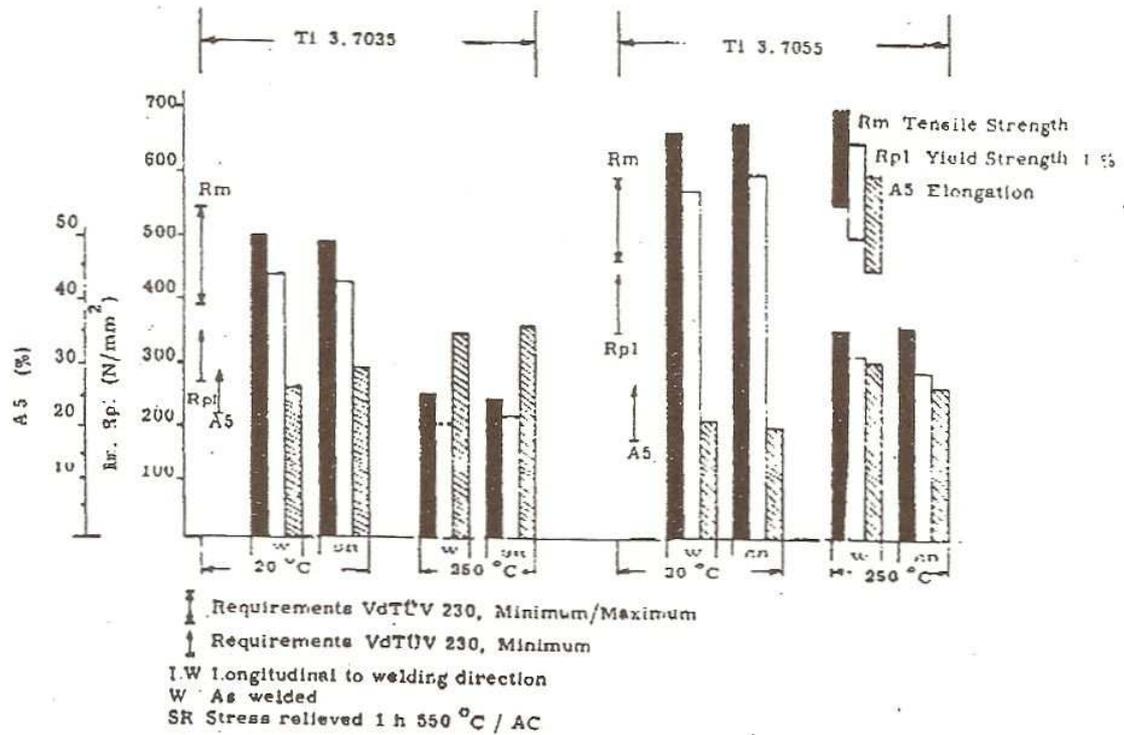


Fig. 9 Mechanical Properties of Fused Material in weldments of Commercially Pure Titanium in LW Direction

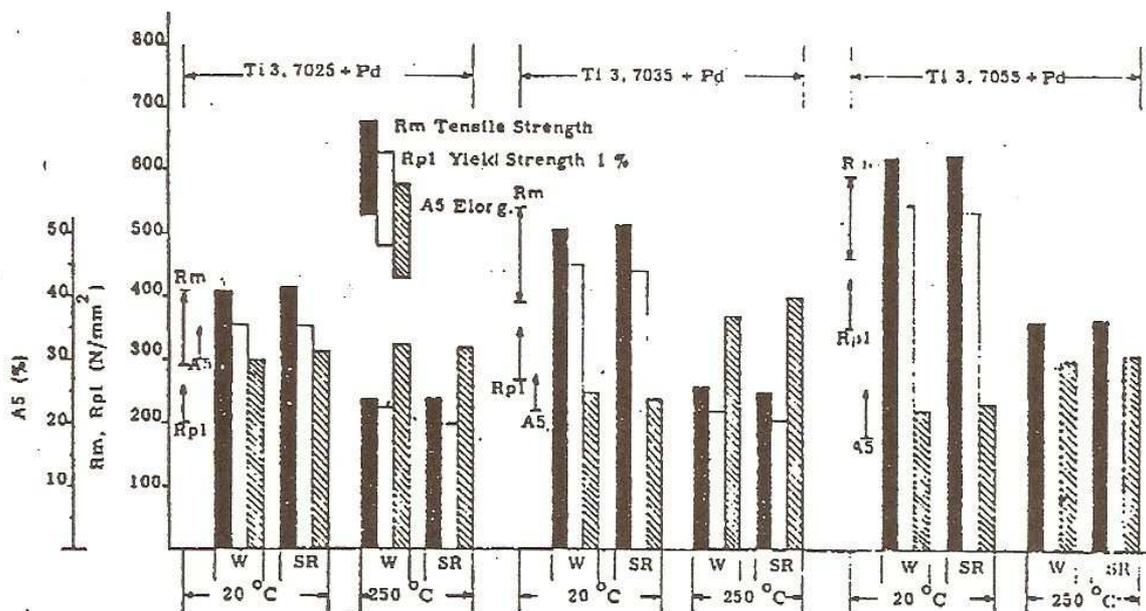


Fig 10 Mechanical Properties of Fused Material in Weldments of Ti 0,15 Pd in LW Direction

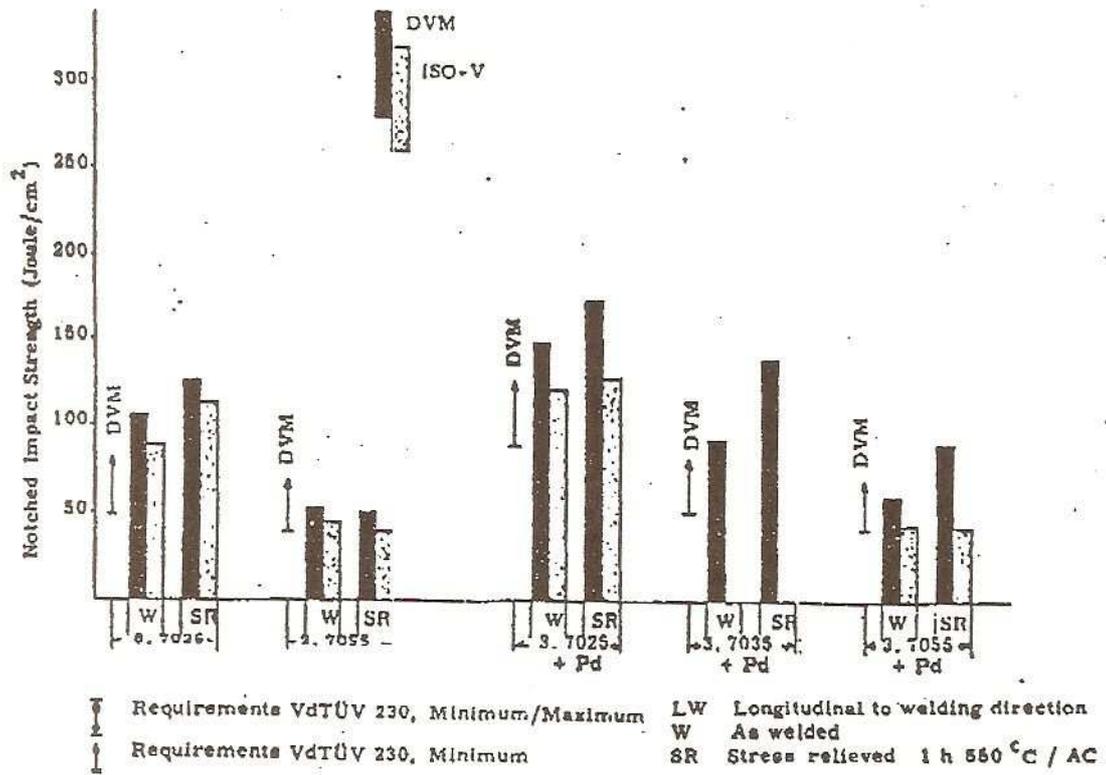


Fig. 11 Notched Impact Strength of Fused Material in Weldments of commercially Pure Titanium and Ti 0,15 Pd at Room Temperature

Independent of the grade, tensile and yield strength reach higher, and ductility lower values than the filler wire. The tensile strength is in the as-welded condition close to the upper limit of material specifications of DIN and VdTÜV. In some cases they are exceeded by up to 5%, especially for grade Ti 3.7055 with and without palladium. The hardness VH 10 of the as welded condition is about 10% above that of the parent metal, as shown in Table 4.

The notched impact strength fulfils already in the as-welded condition the specification; the DVM-samples reach 10 to 20% higher values than the ISO V-samples.

Besides at room temperature, tests were carried out also at 250 °C. Tensile strength, yield strength and elongation are identical or slightly higher than in unwelded material. Post-welded stress relieving (1 h 550 °C/AC) has no influence on the tensile strength at RT and 250 °C. However, independent of the material, the yield strength is slightly decreasing and the elongation increasing. The Ti 0,15 Pd grades show the same behaviour as c.p. titanium.

It should be noted that the scatter of all test results is very small.

Table 4: Hardness of Weldments and Filler Wire

Material DIN 17850	Post-Weld treatment	Weldment	Hardness HV 10 Heat Affected Zone	Parent Metal	Filler Wire
Ti 3.7035	as-welded	169	175	168	186
	stress relieved	162	162	155	
Ti 3.7055	as-welded	218	209	197	244
	stress relieved	220	204	196	
Ti 3.7025 + Pd	as-welded	139	154	135	156
	stress relieved	148	144	130	
Ti 3.7035 + Pd	as-welded	191	191	185	187
	stress relieved	209	203	179	
Ti 3.7055 + Pd	as-welded	229	206	217	245
	stress relieved	228	195	193	

Stress Relieving: 1h 550 °C/AC

Across-Weld Properties

The mechanical properties over the integrated across-weld zone (TW direction) including parent metal, heat-affected area and weld have been investigated only for the Ti 0,15 Pd grades, since for c.p. titanium these properties are already well known. As shown in Fig. 12, the properties reach the specified values also for the notched impact strength, independent of the position of the notch. Post-weld stress relieve annealing increases the value by 10%. ISO V-notch samples reach only about 60% of the value for DVM samples.

The tensile test samples always failed in the parent metal which proves the high quality of the welds. The bend specimens show no cracks, even at 25 mm bend radius and 180 bending over top or root of the weld. But a bend radius of zero creates surface cracks in Ti 3.7035 + Pd and Ti 3.7055 + Pd; only the softest grade Ti 3.7025 remains without any cracking.

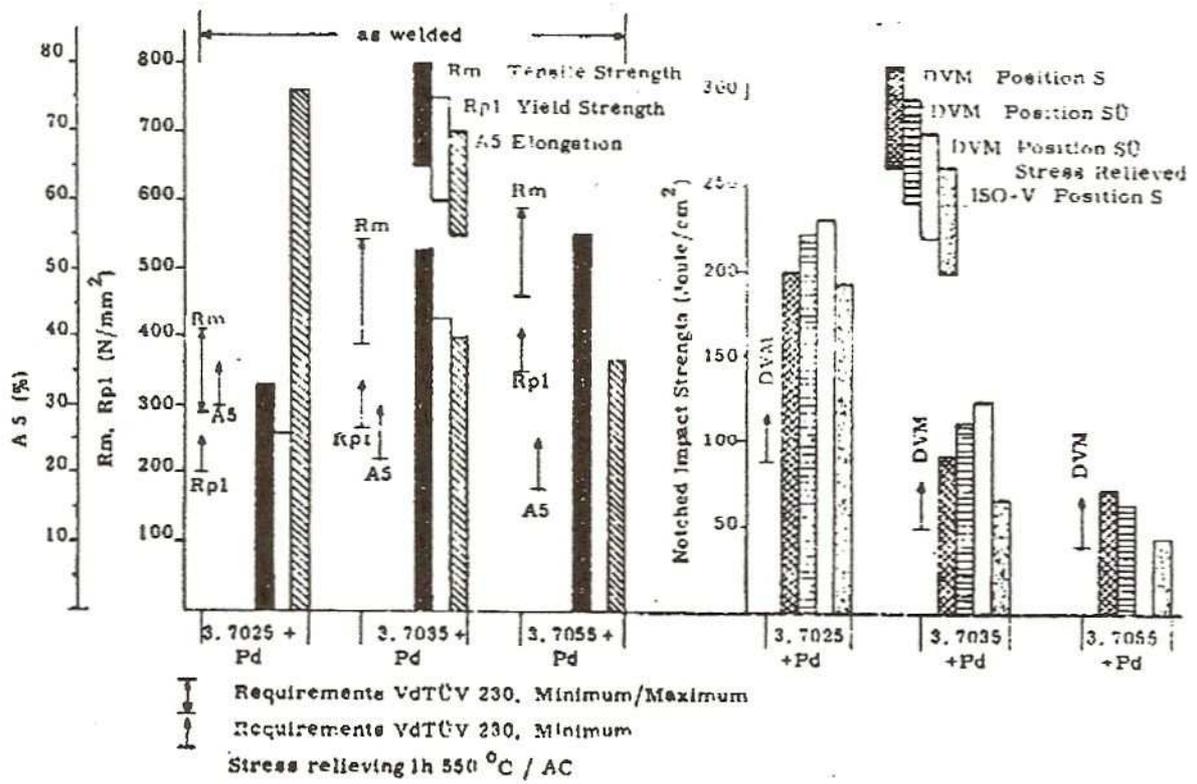


Fig. 12 Across-Weldment Mechanical Properties and Notched Impact Strength of Ti 0,15 Pd at Room Temperature

Microstructure

The microstructure of parent metal, heat-affected zone and weld are similar for all investigated materials. The weld consists of a coarse grained matrix with serrated grain boundaries. Increasing amounts of impurities and alloying additions cause a laminated structure which reaches with further additions finally an acicular appearance (Figure 13). Very similar microstructures, but with finer grain size show the heat-affected zones (Figure 14). The microstructure of parent material as well as of filler wire consists of equiaxed alpha grains with a low portion of a structure which increases with β - stabilizing elements iron, palladium and hydrogen.

The macrostructures show different grain sizes in the parent metal, heat-affected zone and fusion zone illustrated in Fig. 15.

Fig. 13 Typical
Microstructure
Of Ti 3.7055 + Pd
Fusion Zone

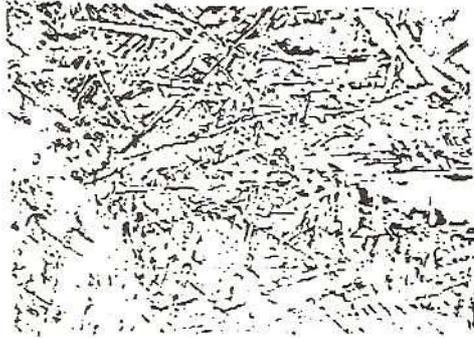


Fig. 14 Typical
Microstructure
Of Ti 3.7035 + Pd
Heat-Affected
Zone

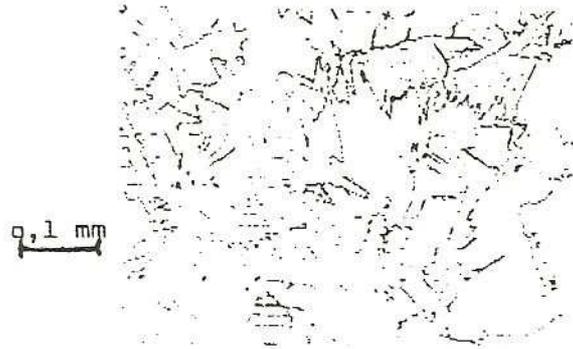


Fig. 15 Across-Weldment
Macrostructures of Ti 0,15 Pd

Ti 3.7025 + Pd

Ti 3.7035 + Pd

Ti 3.7055 + Pd



~ 3 : 1

Discussion and Conclusion

The investigation confirms that under conditions normally used by the fabricators of chemical equipment, the weldments of commercially pure titanium grades Ti 3.7035 and Ti 3.7055 as well as the palladium alloys Ti 3.7025 + Pd, Ti 3.7035 + Pd and Ti 3.7055 + Pd have in the fusion zone a chemical composition which is equivalent to that of the filler wire. The pick-up of atmospheric gases like oxygen, nitrogen or hydrogen during the welding process can be avoided under shop conditions, even for joints of plate material. Thus, the mechanical properties in the as-weld condition are influenced in the joints only to a minor degree. Therefore, post-weld stress relieving at 550 °C leaves the tensile strength uncharged. It decreases the yield strength and improves the ductility and impact strength by reduction of the internal stresses in the weldment. The results also confirm that weldments do not fail in sound joints but in the parent material near the heat-affected zone. This is in agreement with other tensile and creep testing (9,10). Nevertheless, the different microstructure in the joint compared to the parent material, causes a higher tensile and yield strength and a lower ductility. Especially for the grades Ti 3.7055 in the as-welded condition, the strength level exceeds the specified limits. This fact is more evident with higher strength grades and thicker material.

Although the approval for filler wire was granted by VdTÜV, it seems worthwhile to consider revising the current regulation to weld only with the same grade filler wire. It seems advisable to use for plates, at least for harder grades of parent metal a filler wire material which is one grade softer than parent metal.

References

1. Rüdinger, K. : Industrie-Anzeiger 83 (1961) p.
701/705
2. Schultz, H. : Fachbuchreihe Schweißtechnik 59, DVS
GmbH, Düsseldorf 1971
3. Brand, H. : Dissertation D 17 Technische
Hochschule Darmstadt, 1979
4. Burgardt, K.
and K. Rudinger: Z. Metallkunde 218 (1957), 6, p.
335/346
5. van Kann, H. : Schweißen und Schneiden 9 (1957), 10,
p. 460/464
6. Rudinger, K. : Schweißen und Schneiden 10 (1958) 3,
p. 79/86
7. Rudinger, K. : Werkstoffe und Korrosion 16 (1965) 2,
p. 109/115
8. VdTÜV Werkstoffblatt 230 5.79 *
9. VdTÜV Merkblatt Schweißtechnik 1153 5.75 *

* Vereinigung der Technischen Überwachungsvereine e.V.,
Essen

Prof. C. Gianoglio

Politecnico di Torino

INDURIMENTO SUPERFICIALE: QUALI PROSPETTIVE?

Com'è noto il titanio (e di conseguenza le leghe che da esso derivano) assomma in sé numerose caratteristiche positive quali, principalmente, la possibilità d'essere impiegato ad elevate temperature, la contenuta massa volumica, la soddisfacente resistenza a trazione (facilmente elevabile mediante alligazione e trattamento termico) e l'ottima resistenza alla maggior parte dei più comuni agenti corrosivi.

Una diffusione più massiccia del suddetto metallo, in particolar modo nel settore meccanico, è impedita dai pochi, ma evidentemente determinanti, svantaggi ad esso associati. Non voglio considerare tra questi il fattore economico (che innegabilmente può costituire il criterio prioritario di scelta da parte del potenziale acquirente ed utilizzatore) in quanto condizionato da leggi di mercato e da tecnologie di produzione le quali possono evolvere anche improvvisamente determinando imprevedibili "cambiamenti di rotta".

I principali punti deboli associati al titanio sono prevalentemente quelli derivati dalla sua scarsa resistenza all'usura. Siamo convinti che i trattamenti d'indurimento superficiale possano contribuire in misura determinante alla risoluzione di buona parte dei problemi d'ordine tecnologico connessi con l'impiego di questo materiale decisamente innovativo, consentendo in particolare l'impiego di componenti meccanici di massa

volumica relativamente contenuta anche in presenza di fenomeni abrasivi particolarmente severi. La formazione di strati esterni di spessore variabile da alcune decine fino ad un centinaio di micrometri comporta il raggiungimento di durezza sufficientemente elevate (mediante 2.000 μ HV) da consentire, tra l'altro, operazioni di lappatura che portano ad un grado di finitura superficiale difficilmente ottenibile su leghe di titanio non trattate. Contestualmente viene incrementato in misura notevole il tempo di durata in esercizio, mentre subiscono una drastica riduzione i coefficienti di attrito e la probabilità di grippaggio delle superfici affacciate.

E' bene inoltre tener presente alcune caratteristiche chimiche e fisiche delle fasi che costituiscono gli strati superficiali induriti:

- esse corrispondono, per lo più, a quelle di equilibrio;
- la loro formazione è accompagnata da una variazione notevole dell'energia libera;
- esse sono caratterizzate da temperature di fusione nettamente superiori a quella del titanio;
- in nessun caso possono formare, con il materiale di base, liquidi eutettici a temperature inferiori a 1.500°C.

Da queste considerazioni si evince la notevole inerzia termochimica delle superfici trattate, le quali mantengono inalterate le loro caratteristiche anche in presenza di condizioni d'esercizio molto severe sia sotto il profilo termico che sotto quello della possibile aggressione da parte di atmosfere corrosive.

Senza entrare nei dettagli, vorrei brevemente descrivere la fenomenologia dell'indurimento superficiale del titanio. In pratica l'obiettivo può essere raggiunto se si riesce a provocare la diffusione di elementi non metallici leggeri (quali idrogeno, boro, carbonio, azoto, ossigeno) all'interno della matrice metallica. In conseguenza delle loro dimensioni relative e delle differenti caratteristiche chimiche, gli atomi del metallo e quelli del non metallo possono interagire principalmente in due modi così schematizzabili:

- formando soluzioni solide prevalentemente di tipo intrusivo caratterizzate da una distorsione reticolare la cui entità dipende dalle dimensioni del soluto e dalla sua concentrazione;
- originando composti che presentano, in molti casi, una notevole latitudine di composizione.

Nella superficie indurita si possono pertanto distinguere due differenti zone contigue separate da una interfaccia più o meno irregolare. Quella più interna (definita convenzionalmente "strato di diffusione") ha un contenuto variabile di elemento non metallico che tende gradualmente a zero con l'aumentare della distanza dal bordo; quella più esterna (detta "strato di composizione") è costituita da composti titanio non metallo a rapporto atomico variabile e crescente verso la superficie.

Sono state effettuate misurazioni di durezza, concludendo che quest'ultima dipende dal tipo della fase e dalla sua composizione: più precisamente aumenta, sia nello strato più esterno che in quello più interno, all'aumentare del

contenuto di non metallo. Grazie a ciò si ottiene, dal bordo verso la matrice una progressiva diminuzione della durezza; essa è una caratteristica intrinseca della fasi ottenute nel corso della diffusione e non indotta a seguito di trattamenti termici, in tal caso non necessari.

Desidero a questo punto sottolineare che le leghe di titanio indurite superficialmente sono in grado di vincere il confronto con materiali tradizionali quali gli acciai sottoposti a cementazione nitrurante i cui strati di composizione, pur avendo pari resistenza all'usura, possono essere teoricamente impiegati solo fino a temperature prossime a 590°C , al di sopra delle quali avvengono trasformazioni di fase. A proposito dei trattamenti classici d'indurimento superficiale degli acciai, ritengo non possa essere effettuato un confronto con la cementazione carburante o con la tempra superficiale i cui effetti si perdono a temperature superiori a 200°C e che consentono comunque l'ottenimento di strati non altrettanto duri.

Dopo quanto affermato sin'ora, ci si potrebbe chiedere se queste considerazioni manchino di obiettività, poiché sono stati considerati particolarmente gli aspetti positivi del tema. Il ricercatore onesto deve porsi in modo neutrale di fronte ai problemi della sperimentazione evidenziando valutando e (se possibile) eliminando gli ostacoli che si presentano lungo il non facile cammino del miglioramento delle caratteristiche d'impiego dei materiali.

Il primo aspetto negativo è costituito dall'esiguità dello strato indurito che, di regola, non supera il centinaio di micrometri.

Il secondo (in ordine di elencazione, non d'importanza) riguarda la variazione dimensionale del bordo indurito conseguente la formazione dei composti titanio - non metallo: ad essi competono volumi molecolari che sono dal 7 al 50% maggiori del volume atomico del materiale di base. Questa è la causa principale (ma non l'unica) dell'imperfetto aggancio alla matrice da parte dello strato di composizione, il quale tende talvolta alla sfogliatura. Il suddetto fenomeno è ancora in fase di studio e se ne prevede la neutralizzazione a scadenze non brevissime.

Per quanto l'indurimento superficiale del titanio mediante trattamenti termochimici sia un tema di ricerca altamente innovativo e perciò momentaneamente non molto ricco di documentazione scientifica e tecnica, è possibile individuare tre filoni principali di ricerca che riguardano la borurazione, la carburazione e la nitrurazione. Nel corso di questi processi l'elemento non metallico può essere fornito dalla scissione di suoi composti che, alla temperatura di trattamento, si trovano allo stato solido, liquido o gassoso; essi vengono additivati eventualmente con attivatori e diluiti con inerti.

Ultimamente si è affermata una tecnica più sofisticata, quella del bombardamento ionico, grazie alla quale è possibile ottenere strati più uniformi, più spessi e meglio aderenti a parità di temperatura e durata del trattamento.

Da qualche tempo sono allo studio riporti superficiali ottenuti mediante alligazione con laser di potenza; sebbene sia troppo presto per riferire dei risultati sperimentali, possiamo affermare che, grazie alla sua formazione da liquido, lo strato di composizione presenta un aggancio nettamente migliore rispetto a quello ottenibile con metodi tradizionali.

K. - H. Kramer

Schmiedewerke Krupp-Klöckner GmbH, Essen

Mechanical Properties of Titanium and Titanium Alloys,
Industrial Applications

Thank you very much, Mr. Ginatta, for your introduction.

It will be difficult to give you an overview of titanium production, mechanical properties, new applications, and future aspects in half an hour, but I will try.

This first slide (1) shows you titanium sponge. In this case, it is a magnesium reduced sponge, and the particles have a grain-size of about 1 to 12 millimeters diameter.

In the case of a sodium-reduced sponge the grain-size of the particles lies between 1 - 5 mm.

The titanium sponge is compacted by a large, 7500 ton press (slide 2) and the next slide (3) shows you the product which emerges. These are compacts, about 600 millimeters long and 170 millimeters square. These compacts have to be joined together, and the next slide (4) will show you how this is done. In this apparatus, the compacts are welded together under argon pressure. The next slide (5) shows how the material is melted. The electrode is placed into the vacuum chamber of a vacuum arc furnace with a consumable electrode as you see here.

Now let us come to the next slide (6). Here is the product. These are titanium ingots, and they are between 500 and 1000 millimeters in diameter. Their weight varies

between one and ten tons. As you see, titanium is a very common metal. It cannot be termed a precious metal because we melt titanium in large quantities.

Now let us turn to other operations in the processing of titanium ingots.

The next slide (7), will show a normal forging press which we use to forge both steel and titanium. On the next slide (8), you will see a titanium slab which is needed for sheet production. These slabs are about 300 millimeters thick and 1500 millimeters wide. Now let us see the next slide (9). This is a hot rolling mill. Here we break down the slabs and afterwards in this sevenstand mill, we roll this material down to about 3 millimeters in thickness, and a coil is formed. Afterwards the material is cold-rolled to thicknesses down to 0.4 millimeters with widths up to 1500 millimeters.

[Slide (10)]. Now I would like to say a few words about chemical compositions. As Dr. Rüdinger pointed out we have different grades of commercially pure Titanium. Grade I is the material with the lowest oxygen content. The maximum oxygen content according to the general specifications is 0.10 percent. But, normally, the oxygen contents are in the region of 0.005 to 0.08 percent. The mechanical properties of the commercially-pure grades are influenced by oxygen content and not so much by the iron content, because the iron is normally not added. The oxygen is added to the melt in the form of titanium-oxide. Oxygen levels up to 0.30 percent can be reached with the difficult grades.

Now we come to the next slide (11). Don't let the large number of alloys alarm you. I'm taking out one or two examples, e.g. the 6-4 alloy with 6 percent aluminium and 4 percent vanadium or the 6-2-4-2 alloy with 6 percent aluminium, 2 percent tin, 4 percent zirconium, 2 percent molybdenum and a addition of silicon to improve the creep properties.

Now let me mention mechanical properties. [Slide (12)] The minimum yield strength of the grade one commercially pure titanium is 180 N/mm². Normally there are different values according to the direction e.g. 140 up to 220 N/mm². If you want to make heat exchanger plates, you need a material with high ductility and lower strength, because of a good formability of these plates. On the other hand for the aircraft industry, the grade one has a little more oxygen and therefore a little higher strength.

Now let us go on the next slide (13) showing the mechanical properties of the alloys. You shouldn't be worried, I'm taking out e.g. the alloy 6-4. Its minimum yield-strength is 830 N/mm². Normal values are between 900 and 950 N/mm². Tensile strength is in the region of 900 to 1000, and if the alloy is aged, up to 1140 N/mm². If we speak of alloys for engines, we need good high temperature properties. That means we can't use the 6-4 alloy, and therefore we have special alloys, as Dr. Seagle has pointed out, which have higher contents e.g. of zirconium, tin, molybdenum, and silicon.

The next slide (14) will show you the influence of temperature on the tensile strength. If you look at the

6-4 alloy you will see that the tensile strength falls to very low values at high temperatures. So you see that normally the 6-4 alloy will break down in the region of 300°C; therefore we need other alloys with higher hot strengths.

The next slide (15) will show you that another very important property to look at is creep strength. In turbine engines the discs have temperatures in the region of about 500 to 600°C and we need good creep properties at this temperature.

Now we come to applications. I will start with the aircraft industry. What you see in the next slide (16) are rings and casings. These have been forged in to rings and afterwards machined. Another example - the next slide (17), shows a plate, which is machined. It is used in the wing box of the Tornado. These plates are normally delivered with a thickness of about 60 to 80 millimeters, and they are machined down to about 70 percents of their original thickness.

[Next slide (18)] shows another application of commercially pure titanium. These are heat exchanger plates, made of commercially pure titanium of grade I, the only grade capable of such high deformation.

In the slide (19) we see pump casing and an impeller which have been cast in a rammed graphite mould.

In slide (20) you see a valve for the chemical industry made of titanium because of its high corrosion resistance. Slide (21) shows a big column for the chemical process industry, made of commercially pure titanium of grade II.

Another field of application of titanium alloys is the medical industry. You see in the slide (22) a new alloy of the type $TiAl_5Fe_{2,5}$ for the fabrication of endo-prosthesis. The material has outstanding corrosion resistance and bio-compatibility. The mechanical properties shown here are the minimum values to the specifications. This alloy has mechanical properties comparable to the 6-4 alloy, but it has been chosen because vanadium as an element is toxic in the human body. Therefore the vanadium was replaced by iron. Possible applications are complete artificial hips, spinal implants, and permanent surgical implants of every kind, as well as narrow pins, bones, screws, nuts, and plates.

In slide 23 you will see a very common application - a watch made fully of titanium. The casing is hot forged. There are many people who can't wear stainless steels, so titanium is a metal which has bio-compatibility, and for some people it is necessary to use such a metal. Next slide (24) shows scissors made by hot forging the 6-4 titanium alloy. For hardness reasons it has been plated with titanium-nitride.

I would like to point out some future techniques, in particular powder metallurgy. Normally, titanium is melted, and then forged, or it is cast. In this case, we are taking the powder metallurgy route. We use forged bars. These bars are rotated, and we get a very fine powder in the region of 100 to 500 Microns. These powders are filled into capsules and hot isostatically-pressed.

A comparison of material requirements for forgings and powder-metallurgical parts is shown in slide (25). In the case of forgings you have to machine away a lot of material - 66 percent or more, as I pointed out with the plate, and in some cases as much as 80 percent.

In the case of a part made by the powder metallurgy route, the machining is only 20 percent. Testing of the material is more expensive, however. Additionally the fabrication by the powder metallurgy route is more expensive. So on the whole, you must decide part by part, if powder metallurgy is worthwhile. The chance for powder metallurgy will be that you have the possibility to make new alloys, which you can't melt and forge.

Next slide (26) shows a procedure of superplastic forming and diffusion bonding. Here titanium sheets are blown up together by high argon pressure of about 20 bar. Complex structures can be produced, and I think that is the latest trend in the aircraft industry.

Now ladies and gentlemen I will come to the end and I hope that I've shown you some new aspects of making titanium.

Thank you.

Krupp- Marke TIKRUTAN	Werkstoff-Nummer		Normen		Chemische Zusammensetzung in Gew.-% (Rest: Titan)					
	DIN	Luftfahrt	VdTÜV	AECMA	Eisen max.	Sauer- stoff ca.	Stick- stoff max.	Kohlen- stoff max.	Wasser- stoff max.	(Palladium)
RT 12 (Pd)	3.7025	3.7024	Gruppe I	Ti-PO1	0,20	0,10	0,05	0,08	0,013 ¹⁾	(0,15-0,25)
RT 15 (Pd)	3.7035	3.7034	Gruppe II	Ti-PO2	0,25	0,20	0,06	0,08	0,013 ¹⁾	(0,15-0,25)
RT 18 (Pd)	3.7055	—	Gruppe III	—	0,30	0,25	0,06	0,10	0,013 ¹⁾	(0,15-0,25)
RT 20	3.7065	3.7064	Gruppe IV	Ti-PO4	0,35	0,30	0,07	0,10	0,013 ¹⁾	-

1) Bei Blechen <2 mm Dicke und anderem Halbzeug <2 mm \varnothing oder vergleichbarem Querschnitt sind Wasserstoffgehalte bis zu 0,015 % zulässig.

Fig. 10: Chemical composition of commercially
Pure titanium grades

Krupp Marke TIKRUTAN	Kurz- bezeichnung	Legie- rungs- typ	Chemische Zusammensetzung in Gew.-%											
			Legierungselemente						Begleitelemente					
			Al	V	Mo	Sn	Zr	Cu	Fe (max)	O (max)	H (max)	N (max)	C (max)	
LT 21 ¹⁾	TiAl5Sn2,5	α	4,0-6,0	-	-	1,5-3,0	-	-	-	0,25	0,20	0,020	0,07	0,08
LT 22	TiAl8Mo1V1	$\alpha(+\beta)$	7,5-8,5	0,75- 1,25	0,75- 1,25	-	-	-	-	0,30	0,15	0,015	0,05	0,08
LT 24	TiAl6Sn2Zr4Mo2	$\alpha(+\beta)$	5,5-6,5	-	1,8-2,2	1,8-2,2	3,6-4,4	-	-	0,25	0,12	0,015	0,05	0,05
LT 25	TiCu2	α	-	-	-	-	-	2-3	-	0,20	(0,20)	0,010	0,05	0,1
LT 31 ¹⁾	TiAl6V4	$\alpha + \beta$	5,5-6,5	3,5-4,5	-	-	-	-	-	0,25	0,20	0,013	0,07	0,08
LT 33	TiAlV6Sn2	$\alpha + \beta$	5,0-6,0	5,0-6,0	-	1,5-2,5	-	-	-	0,35 1,0	0,20	0,015	0,04	0,05
LT 34	TiAl4Mo4Sn2Si ²⁾	$\alpha + \beta$	3,5	-	3-5	1,5-2,5	-	-	-	0,2	-	0,015	-	0,08

¹⁾ Für spezielle Anwendungsfälle bei tiefen Temperaturen können diese Legierungen mit niedrigen Gehalten an Begleitelementen hergestellt werden. ²⁾ Si 0,3-0,7 Gew.-%

Fig. 11: Chemical composition of titanium alloys

Krupp-Märke TIKRUTAN	Werkstoff-Nummer		VdTOV	Normen		Zustand		
	DIN	Luftfahrt		AECMA				
RT 12 (Pd)	3.7025.10	3.7024	Gruppe I	Ti-PO1	geglüht, zunder- frei			
RT 15 (Pd)	3.7035.10	3.7034	Gruppe II	Ti-PO2				
RT 18 (Pd)	3.7055.10	—	Gruppe III	—				
RT 20	3.7065.10	3.7064	Gruppe IV	Ti-PO4				
Krupp-Märke TIKRUTAN	0,2-Grenze min. N/mm ²	Zugfestig- keit N/mm ²	Bruch- dehnung min. % ¹⁾ ²⁾		Bruchein- schnürung min. % ²⁾	Kerbschlag- arbeit (DVM- Probe ³⁾) min. J	Biegeradius (105 °C Biegewinkel für Blechdicke ≤ 2 mm > 2–5 mm ³⁾ s	
RT 12 (Pd)	180	290–410	30	25	35	60	1s	1,5s
RT 15 (Pd)	250	390–540	22	20	30	35	1,5s	2s
RT 18 (Pd)	320	460–590	18	16	30	25	2s	2,5s
RT 20	390	540–740	16	15	25	20	2,5s	3s
¹⁾ Bleche und Bänder sowie ²⁾ Schmiedestücke und Stäbe: > 80 mm Ø bzw. Dicke: Proben in Querrichtung ³⁾ Bei Blechdicken über 5 mm								

Fig. 12: Mechanical properties of commercially pure titanium grades

Krupp-Marke	Fliegwerkstoff-Nr.	Zustand	Abmessungen mm	0,2 %-Grenze min. N/mm ²	Zugfestigkeit		Bruchdehnung min. %	Bruch-einschnürung min. %
					min. N/mm ²	max. N/mm ²		
TIKRUTAN LT 21 ¹⁾ (TiAl5Sn2,5)	3.7114	geglüht	0,4–5,0	780	830	–	10	–
		geglüht	< 100	760	790	–	10	25
TIKRUTAN LT 22 (TiAl8Mo1V1)	3.7134	geglüht	0,6–5,0	860	930	–	10	–
		geglüht	< 65	820	890	–	10	20
TIKRUTAN LT 24 ¹⁾ (TiAl6Sn2Zr4Mo2)	3.7144	ausgehärt.	< 80	830	900	–	8	25
TIKRUTAN LT 25 (TiCu2)	3.7124	geglüht	0,4–5,0	460	540	–	15	–
		geglüht	< 80	400	540	–	16	35
		ausgehärt.	0,4–5,0	550	690	–	10	–
		ausgehärt.	< 80	540	650	–	10	30
TIKRUTAN LT 31 (TiAl6V4)	3.7164	geglüht	0,6–2,0	870	930	–	8	–
		geglüht	2,0–5,0	870	930	–	10	–
		geglüht	< 80	830	900	–	10	25
		geglüht	< 160	830	900	–	8	20
		ausgehärt.	< 12,5	1070	1140	–	8	20
TIKRUTAN LT 33 (TiAl6V6Sn2)	3.7174	geglüht	0,6–5,0	1000	1070	–	8	10
		geglüht	< 100	930	1000	–	8	–
		ausgehärt.	< 25	1170	1240	–	6	15
TIKRUTAN LT 34 (TiAl4Mo4Sn2Si)	3.7184	ausgehärt.	< 25	960	1100	1280	9	20
		ausgehärt.	25–100	920	1050	1220	9	20
		ausgehärt.	100–150	870	1000	1200	9	20

Fig. 13: Mechanical properties of titanium alloys

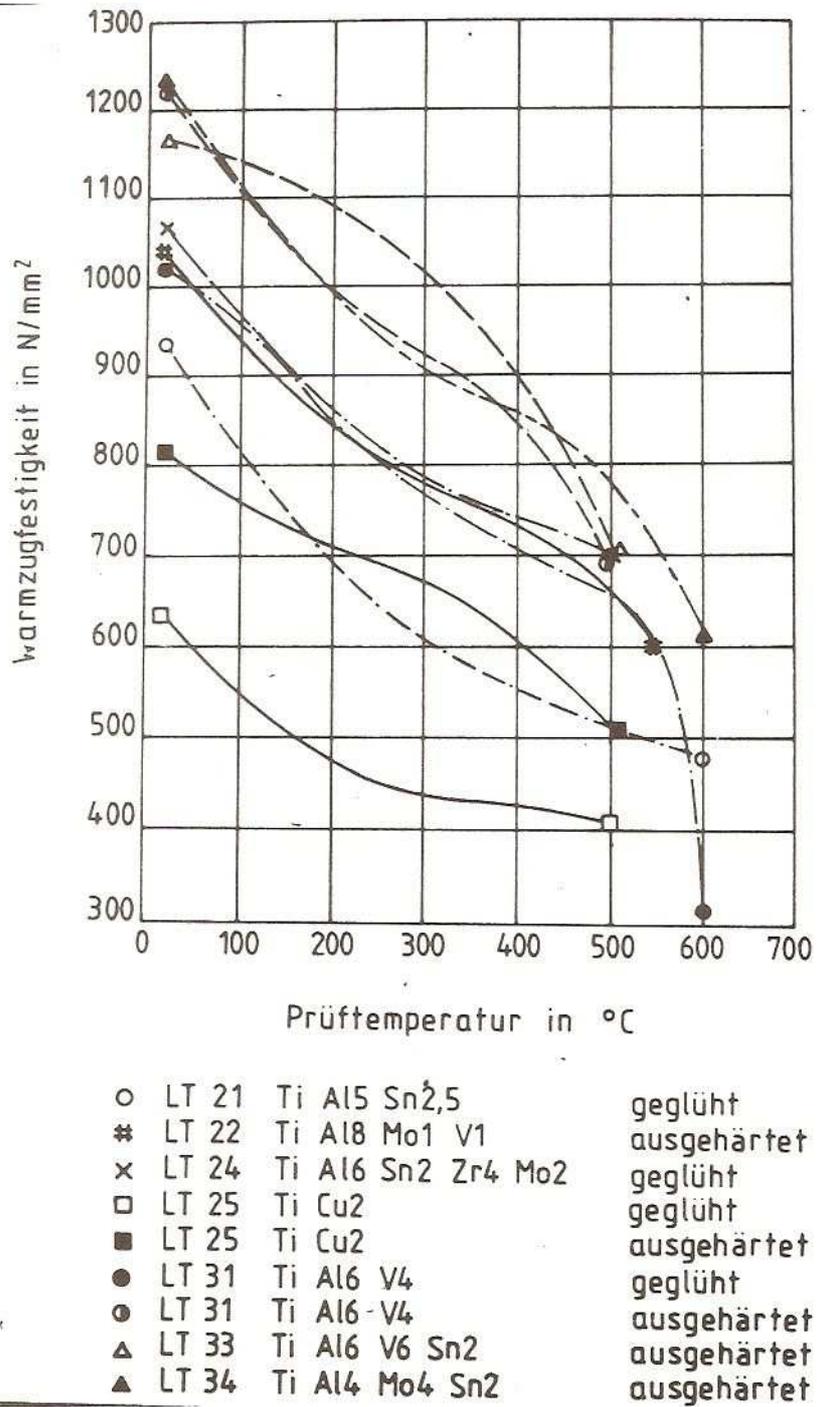
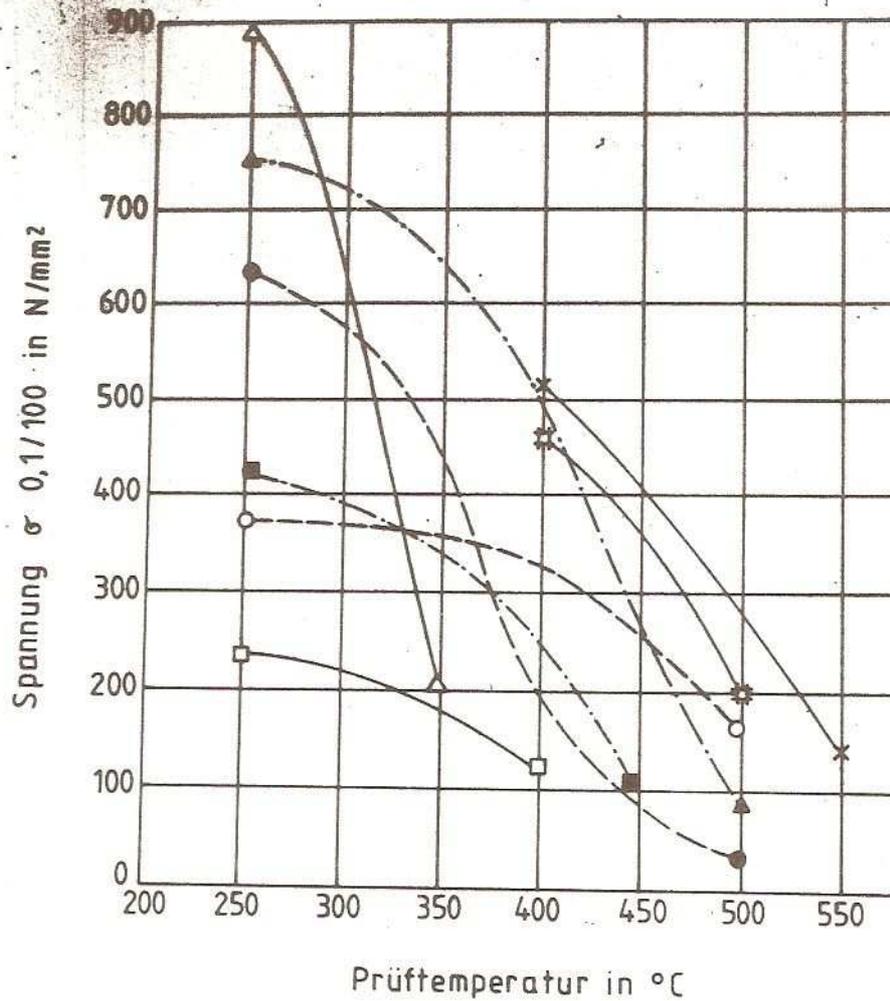


Fig. 14: Warm strength of titanium alloys



- | | | | |
|---|-------|--------------------|-------------|
| ○ | LT 21 | Ti Al5 Sn2,5 | geglüht |
| # | LT 22 | Ti Al8 Mo1 V1 | geglüht |
| × | LT 24 | Ti Al6 Sn2 Zr4 Mo2 | geglüht |
| □ | LT 25 | Ti Cu2 | geglüht |
| ■ | LT 25 | Ti Cu2 | ausgehärtet |
| ● | LT 31 | Ti Al6 V4 | geglüht |
| △ | LT 33 | Ti Al6 V6 Sn2 | ausgehärtet |
| ▲ | LT 34 | Ti Al4 Mo4 Sn2 | ausgehärtet |

Fig. 15: Creep properties of titanium alloys

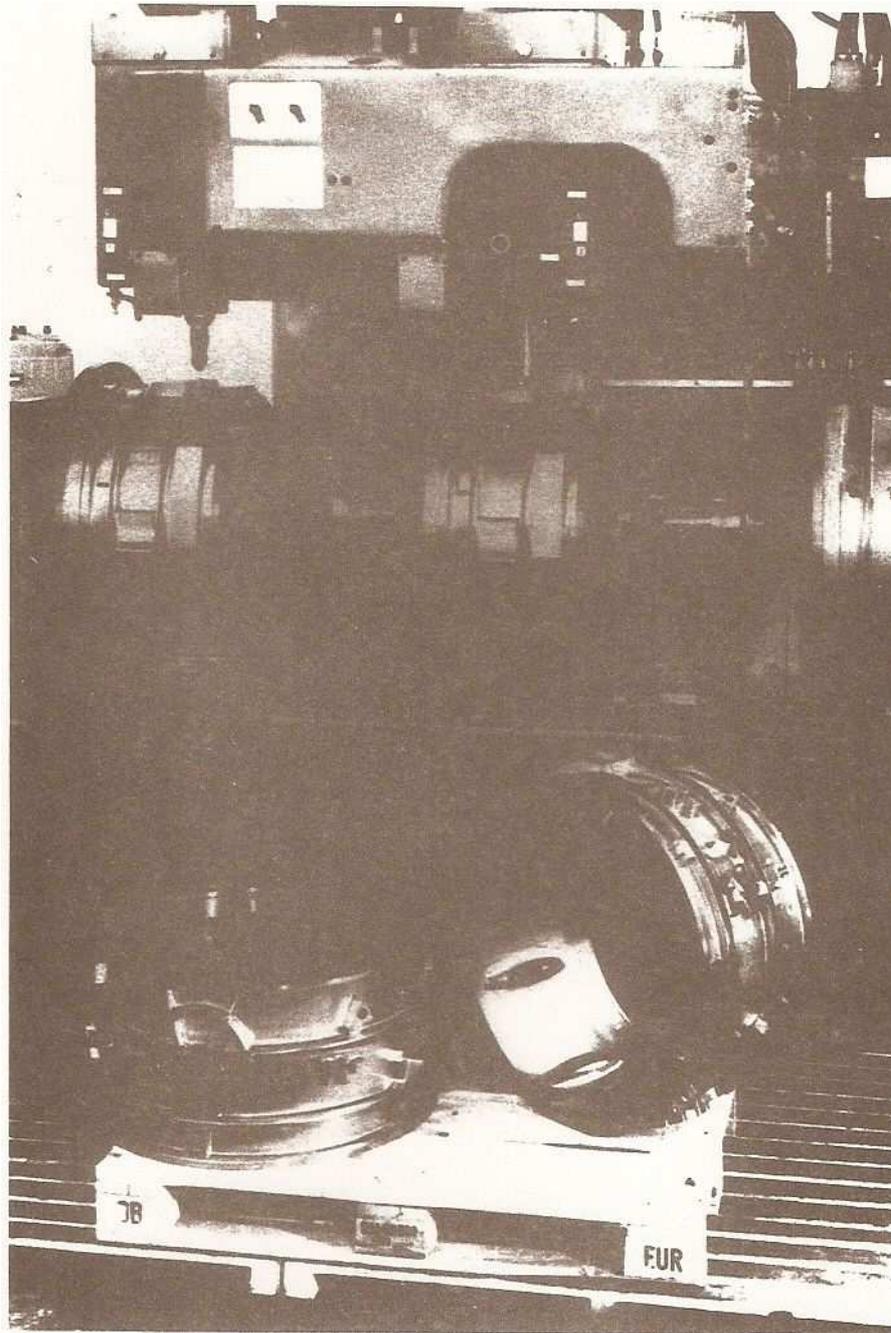


Fig. 16: Outer casings for the Tornado engine

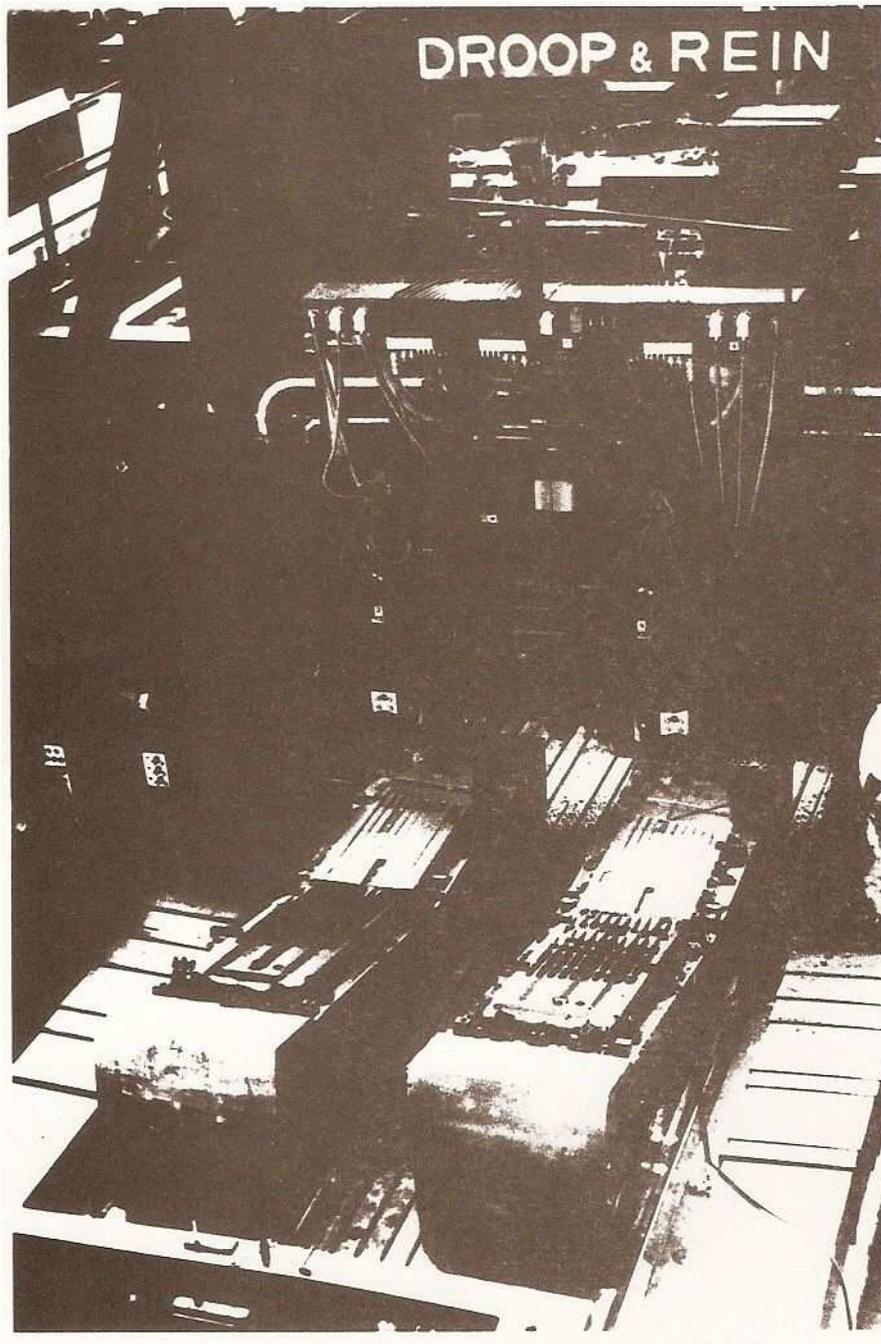


Fig. 17: Machining of plates for the wing box
Of the Tornado

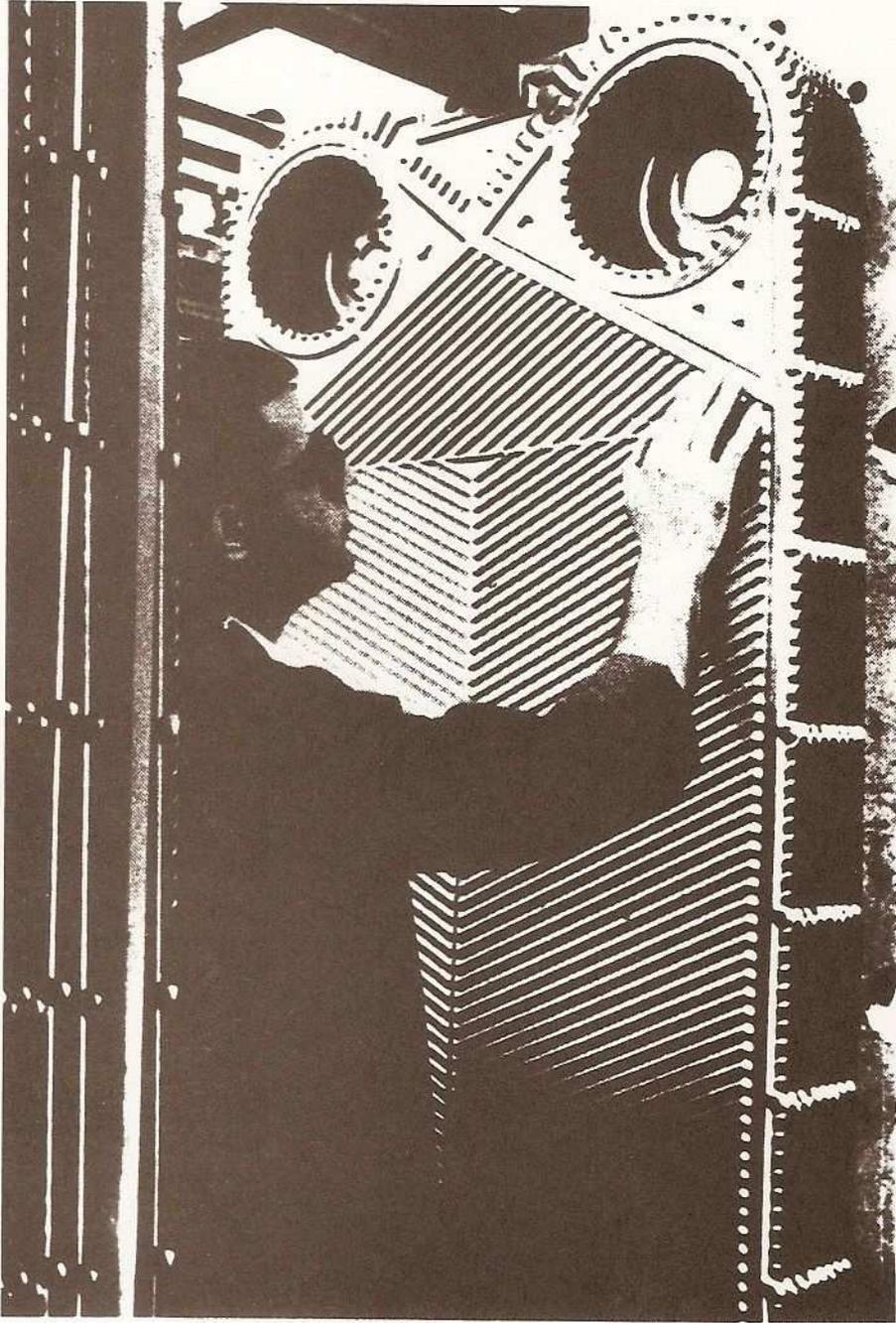


Fig. 18: Heat exchanger plates

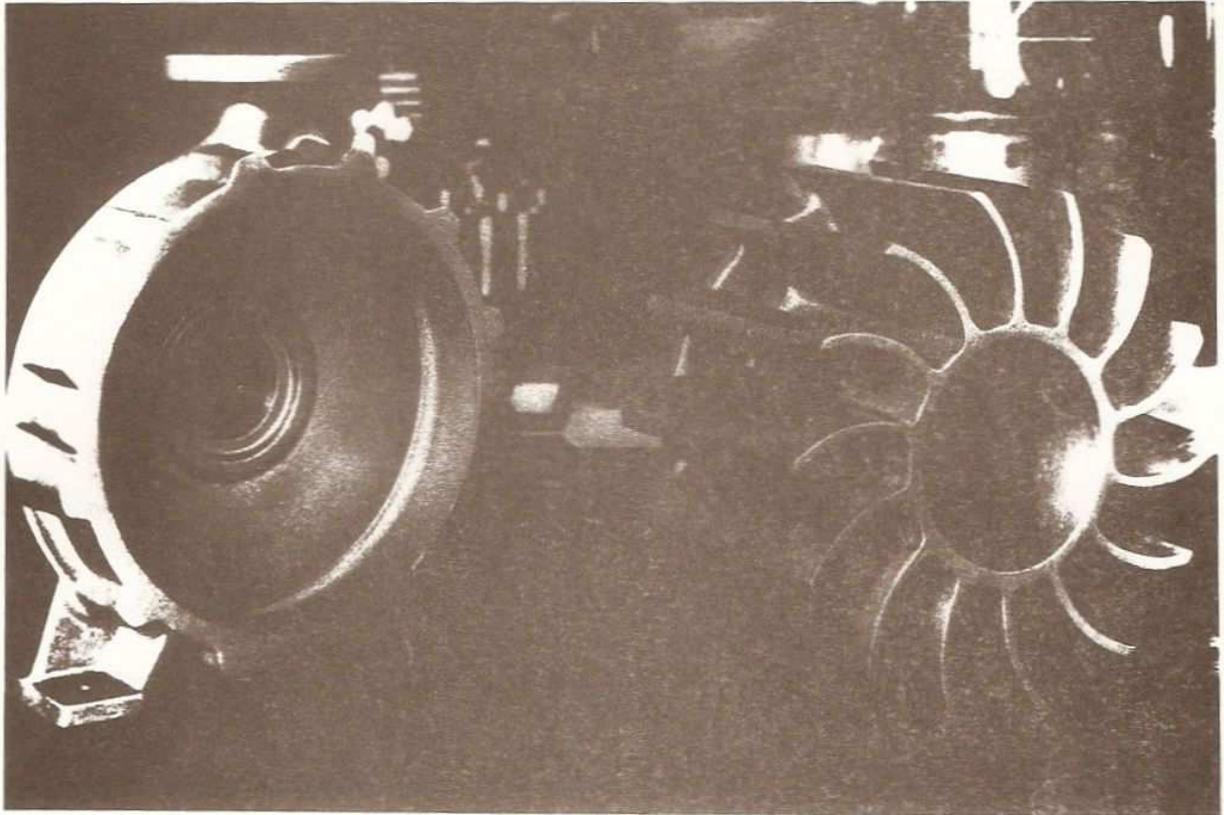


Fig. 19: Pump casing and impeller

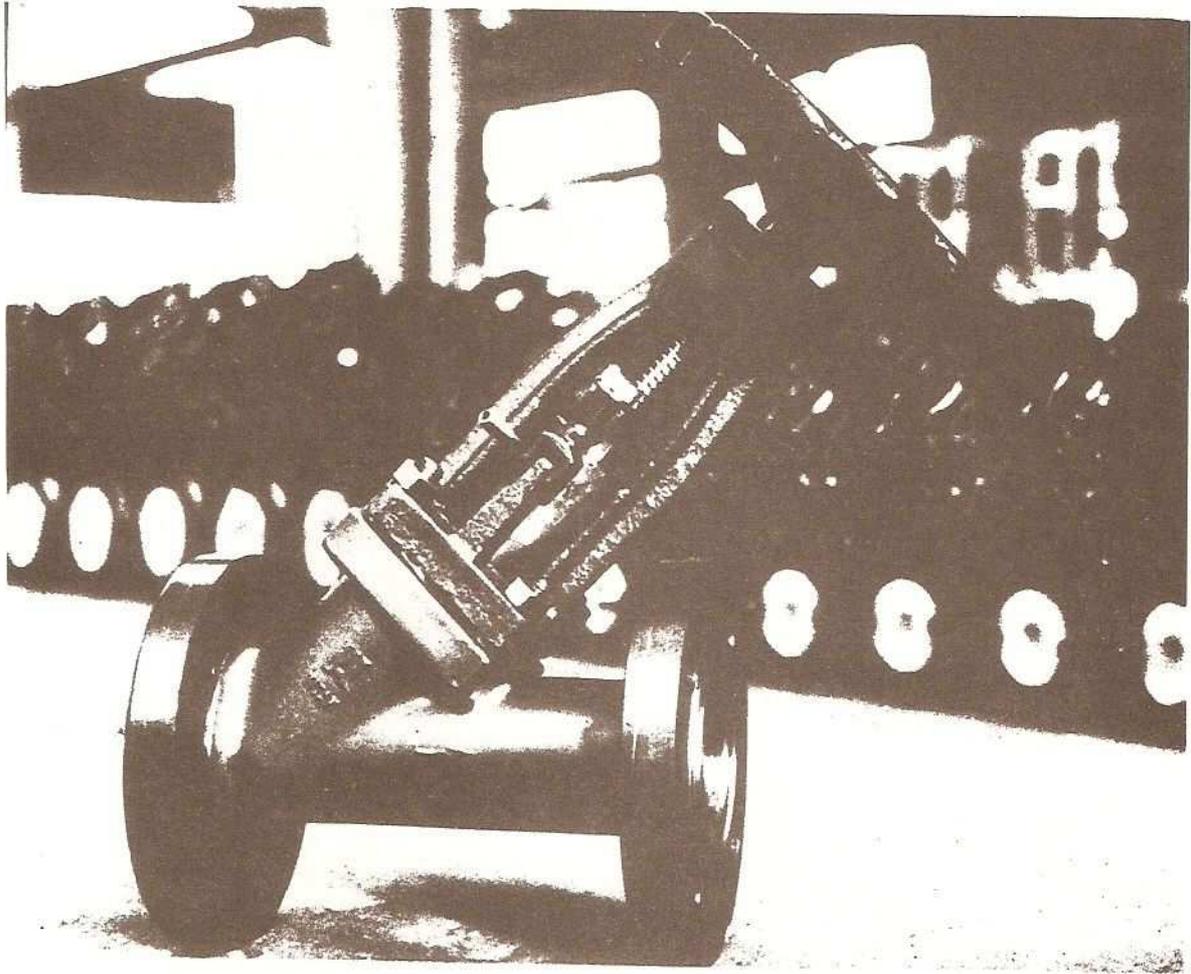


Fig. 20: Valve

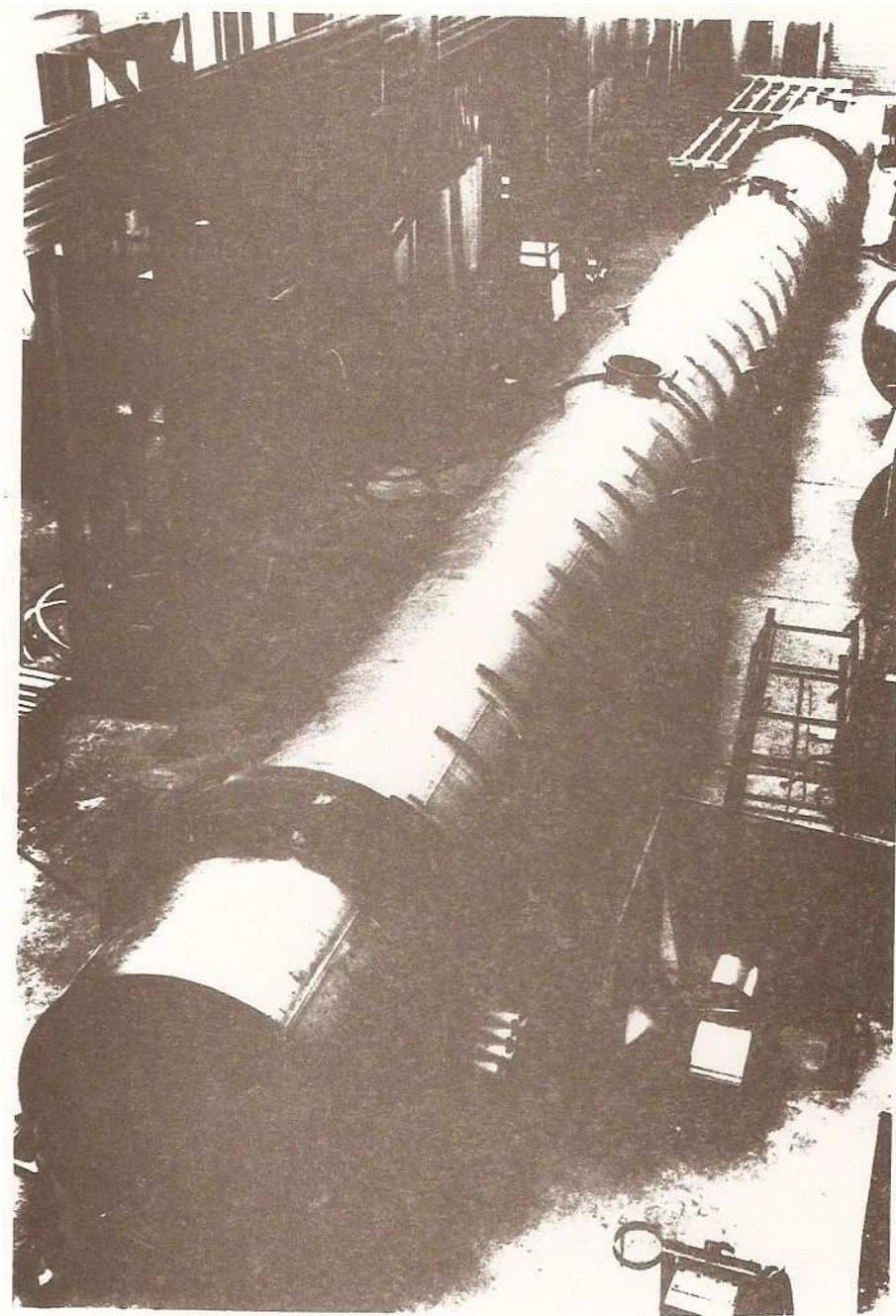


Fig. 21: Reaction vessel

TIKRUTAN LT 35

a new surgical implant titanium forging alloy
Ti Al5 Fe 2,5

outstanding properties:

- corrosion resistance
- tissue compatibility
- bio compatibility
- extreme loading capacity

Mechanical Properties of the alloy in the annealed condition

ultimate tensile strength	860 N/mm ²
yield strength (0,2%)	780 N/mm ²
Elongation	10 %
Reduction of area	25 %

Possible fields of application

Complete artificial hips ; spinal implants ;
permanent surgical implants of every kind as well
as marrow pins , bone screws , nuts and plates .

Fig. 22: Titanium forging alloy for surgical implants

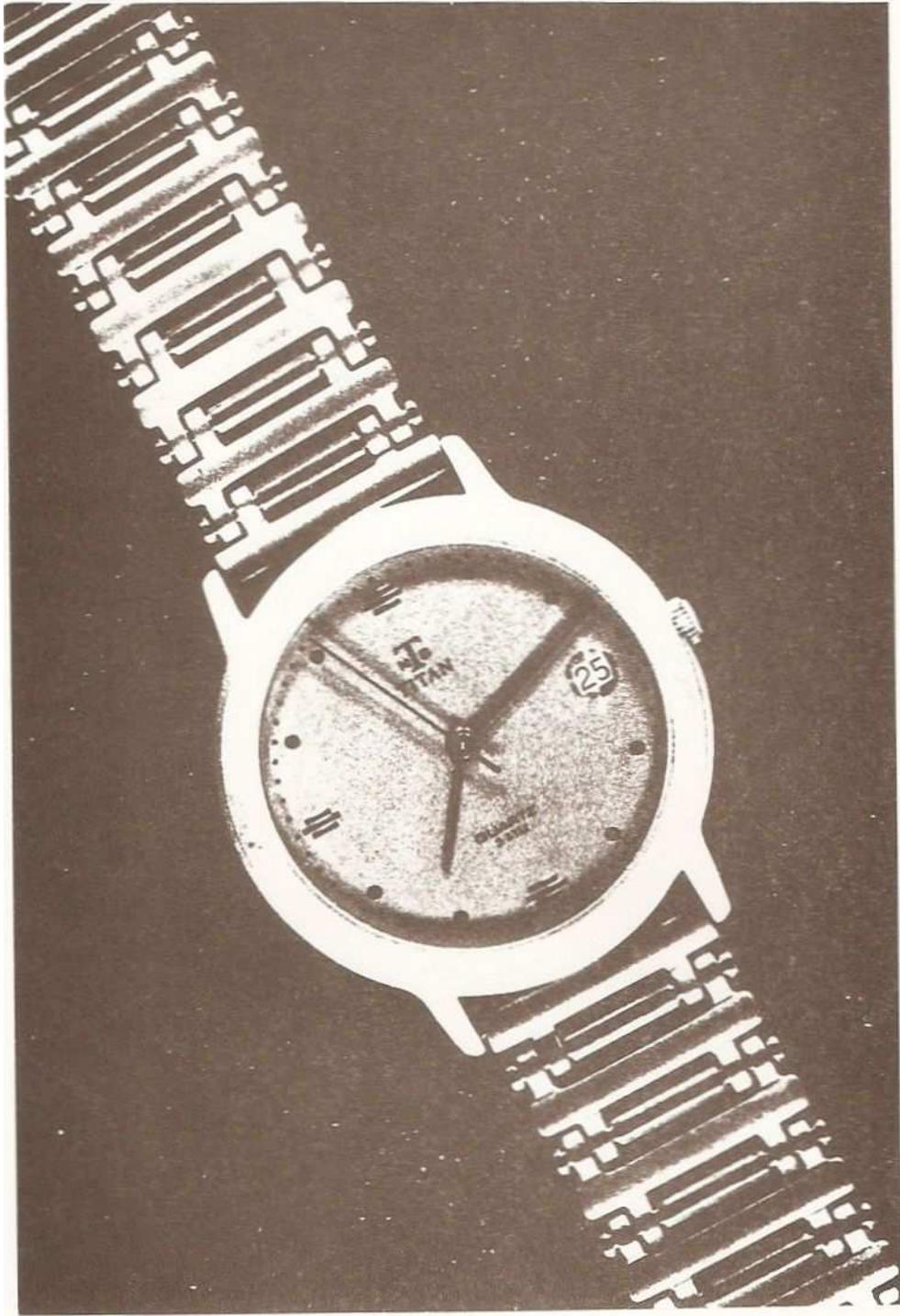


Fig. 23: Watch with bracelet

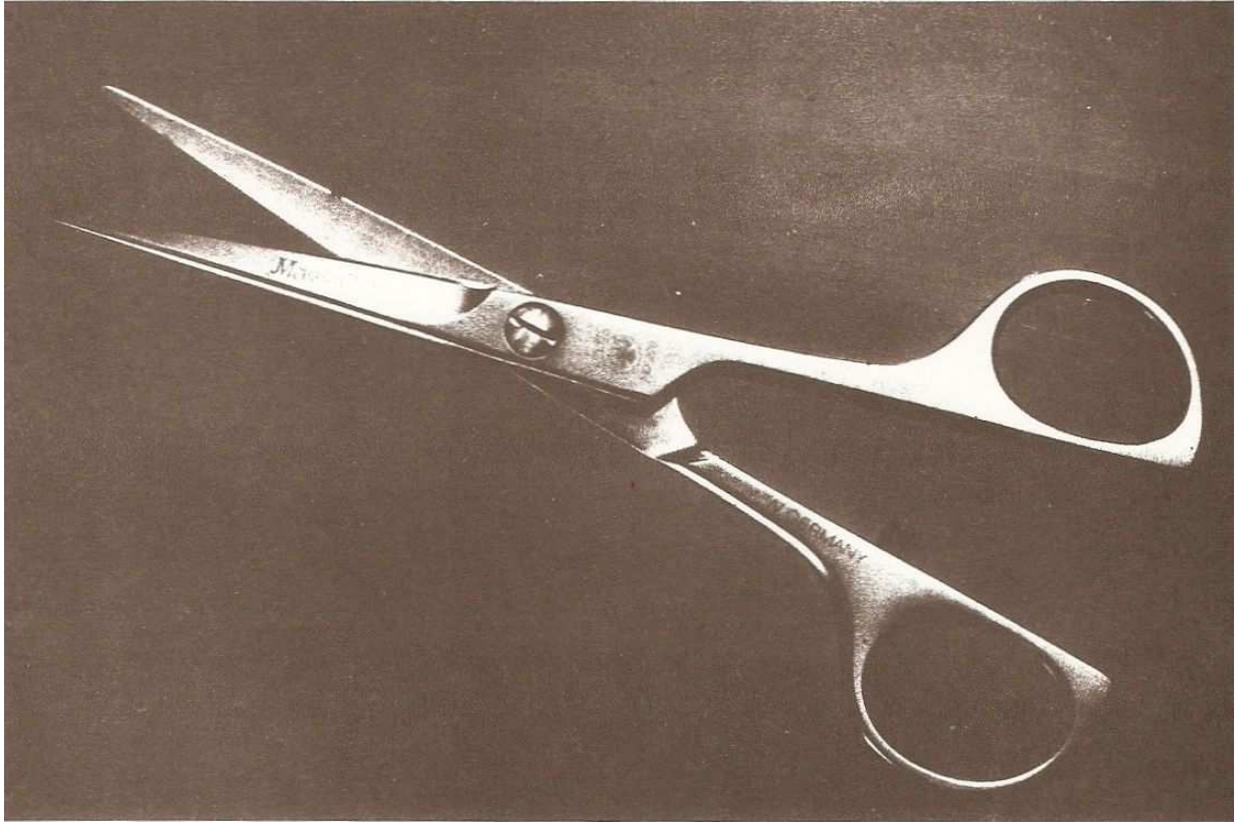


Fig. 24: Scissors with hard titanium nitride layer

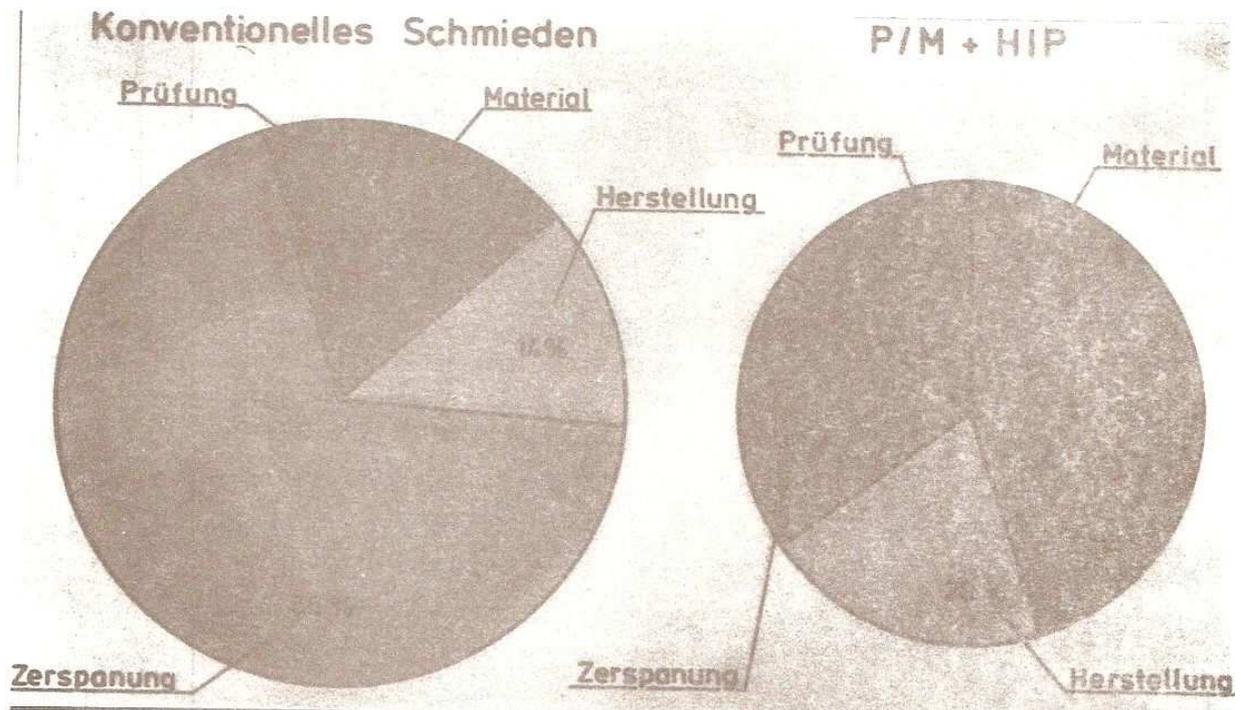


Fig. 25: Cost comparison of production steps
For forged and P/M material

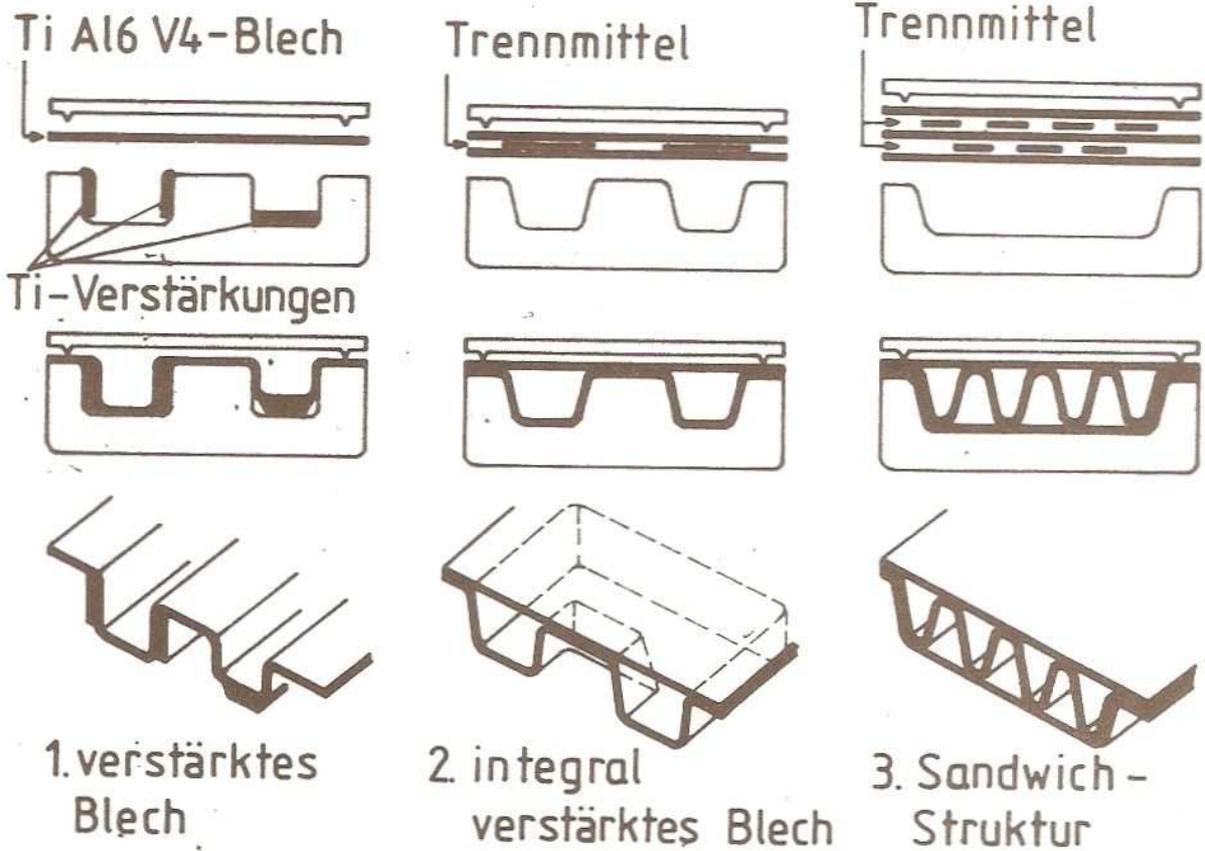


Fig. 26: Superplastic forming and diffusion bonding

Ing. E. Valenti

RCF

UTILIZZO DI MEMBRANE IN TITANIO PER TRASDUTTORI
ELETTROACUSTICI

Come prima cosa, porto un ringraziamento da parte della RCF all'Elettrochimica Marco Ginatta, anche per l'intervento che sto per fare, ma soprattutto perché grazie al meeting dello scorso anno l'RCF è riuscita a risolvere un grosso problema nel campo dei trasduttori elettroacustici ed è stato proprio in questa sede che io lo scorso anno ho avuto i contatti giusti, necessari, con esperti; in principal modo voglio ringraziare il Dr. Seagle, che mi ha dato buoni consigli lo scorso anno.

L'RCF è un'azienda che produce materiale da sonorizzazione: sistemi professionali, alta fedeltà.

Siamo nel settore da 38 anni e possiamo considerarci un'azienda leader in questo campo; operiamo a Reggio Emilia in due stabilimenti e fabbrichiamo interamente nostri prodotti, compresi i singoli particolari.

Per sonorizzazione si intende quello che tutti chiamiamo "altoparlante", che è composto dal "woofer", altoparlante delle basse frequenze, dal "midrange", che è la parte delle medie, dal "tweeter", altoparlante invece delle alte frequenze e da quelle che noi chiamiamo "driver", la parte più tecnica e professionale, per le altissime frequenze. Il cuore di tutti questi altoparlanti, la parte che vibra,

è la membrana, composta da resine fenoliche, adottate perché sono leggere e vibrano facilmente. Queste resine, e anche la cellulosa in certi prodotti, sono ancora usate con ottimi risultati per le basse frequenze, mentre nei tweeter si sono utilizzati dei film plastici. Nell'altoparlantino da frequenze altissime occorre adottare un materiale che riesca ad arrivare a questi risultati in uno spettro audio dai 2.000 ai 20.000 Hertz. Il metallo più idoneo a questo scopo è l'alluminio, in quanto molto leggero e di facile imbutitura, che però soprattutto in impianti continuamente in funzione (spettacoli all'aperto, aeroporti, ospedali) è di breve durata. Per ovviare a quest'ultimo inconveniente si è giunti all'utilizzo del titanio che alle doti chimiche e fisiche aggiunge leggerezza ed elasticità. Qualche problema è emerso nella lavorazione; imbutire una lamiera da 3 o 5 centesimi di spessore pareva praticamente impossibile.

La ricerca, i tentativi e soprattutto l'incontro con un'attrezzista della Brianza, il Sig. Casati, ci hanno favorito e siamo riusciti ad ottenere il risultato sperato.

Posso quindi concludere affermando che il titanio, anche in spessori così piccoli, non solo è facilmente reperibile, ma con qualche accorgimento e la collaborazione di un attrezzista, è anche facilmente lavorabile, io sono a disposizione di chi volesse eventualmente sapere come.

Ancora un ringraziamento all'Elettrochimica Ginatta, sperando che il prossimo anno possiamo ritrovarci con qualcuno di voi che possa portare delle nuove esperienze utili a tutti.

Grazie.

Prof. P. Pedefferri
Politecnico di Milano
OSSIDAZIONE ANODICA DEL TITANIO

Alla superficie del titanio (ma anche di altri metalli quali: il niobio, il tantalio, lo zirconio, il tungsteno, ecc.) è possibile formare dei film di ossido che danno colori di interferenza variabili con il loro spessore in un'ampia gamma di tonalità.

Questi film si possono ottenere anzitutto per via termica. Ad esempio riscaldando il titanio all'aria lo spessore del film raggiunge valori sufficienti a dare una prima tenue colorazione gialla già a 500°C. Salendo con la temperatura e quindi con lo spessore del film le tinte di interferenza divengono via via giallo-oro poi marrone quindi porpora, bruno, celeste, rosa, verde fino ad assumere attorno ai 900°C una colorazione grigio-marrone. Al di sopra dei 900°C sono ancora presenti le colorazioni ma queste appaiono degradate.

La via più usata per ottenere le diverse tinte in modo controllato e riproducibile è però l'ossidazione anodica.

L'OSSIDAZIONE ANODICA

La prima scala cromatica

Facendo funzionare anodicamente il titanio in una soluzione salina, al crescere del potenziale applicato aumenta lo spessore dell'ossido che il processo anodico

forma sul metallo. Di conseguenza cambia il suo colore che passa, crescendo il potenziale da 0 a 100 V dall'oro, al porpora, al blu, all'azzurro, all'argento, al giallo, al rosa, al violetto, al cobalto, al verde, al rosa, al grigio, come è indicato in Tabella 1.

Tabella 1 - Prima scala cromatica

	potenziale (V)
Oro	10
Porpora	15
Blu	20
Azzurro	25
Argento	35
Giallo	45
Rosa	70
Violetto	80
Verde cobalto	90
Verde	100
Rosa	120
Grigio	130

Come elettrolita si può utilizzare qualsiasi soluzione acquosa che sia dotata di sufficiente conducibilità purché non risulti troppo aggressiva nei confronti del titanio sotto ossidazione (e quindi vanno escluse ad esempio le soluzioni fluoridriche, cloridriche, ecc.) o troppo passivamente (e quindi vanno escluse soluzioni alcaliniche ecc.). Le soluzioni che hanno trovato maggior impiego sono soluzioni di acido solforico (al 5%), fosforico (al 10%), solfamnico (al 10%), di solfato di magnesio (al 5%), di solfato d'ammonio (al 10%), di fosfato trisodico (al 5%) e loro miscele.

E' opportuno operare a temperatura ambiente in quanto a temperature più elevate si producono film di ossido più porosi.

Ai fini dell'ottenimento di buoni risultati è di fondamentale importanza un'accurata preparazione preliminare della superficie del titanio. Tra l'altro variando il tipo e/o le modalità di preparazione superficiale, e quindi variando le caratteristiche della superficie del titanio prima dell'ossidazione, si ottengono colorazioni con sfumature ed intensità diverse. Così ad esempio partendo da una superficie sabbiata oppure solamente decapata, oppure da una superficie lucida piuttosto che opaca si ottengono tinte nettamente diverse anche applicando identici processi di ossidazione.

Ai colori che sopra abbiamo elencato diamo il nome di colori della prima scala cromatica. I colori di questa scala sono ben noti fino dagli anni '60 quando il titanio è entrato nell'uso industriale. Esiste però la possibilità di ottenere su titanio anche una seconda scala di colori.

La seconda scala cromatica

Quando il titanio viene ossidato in ambienti opportuni presenta la caratteristica singolare di conservare "memoria" nel colore dei suoi ossidi delle condizioni iniziale dell'ossidazione. Infatti, se il potenziale a cui inizia l'ossidazione è superiore ad una soglia critica non si ottengono i colori della scala cromatica prima descritta ma altre tonalità che in relazione al valore del potenziale finale variano all'interno di quella che chiameremo seconda scala cromatica che va dal rosso al turchese, al blu, al celeste, all'argento attraverso tutta una serie di tinte intermedie (Tabella 2).

La seconda scala cromatica è più ricca di sfumature della prima perché le tinte finali vengono a dipendere da tutta la storia elettrochimica subita dall'ossido, come vedremo più avanti, oltre che da numerosi altri fattori come: lo stato di superficie, la composizione e la temperatura del bagno, il tipo di titanio usato, ecc.

Questa particolare sensibilità della seconda scala da una parte ritorna utile per allargare il campo delle sfumature ottenibili; dall'altra rende abbastanza difficile il controllo e quindi la riproduzione esatta di una particolare tinta.

Ad ogni modo la seconda scala presenta sempre toni più caldi e più morbidi di quelli della prima. I film ottenuti risultano peraltro più porosi e molto meno resistenti rispetto a quelli della prima scala.

Tabella 2 - Seconda scala cromatica

	potenziale (V)
Rosso	8
Turchese	10
Blu	12
Celeste	15
Argento	18

Effetti cromatici differenziali

La disponibilità della seconda scala, accanto alla prima, consente di estendere notevolmente la gamma di colori disponibili. Ma c'è di più. Infatti, mentre è possibile passare all'interno della seconda scala - esattamente come all'interno della prima - da un colore al successivo, non è invece possibile passare da colori di una scala a quelli dell'altra. Pertanto una volta che il funzionamento anodico è iniziato ad un certo potenziale rimane stabilito per sempre se si otterranno colori della prima o della seconda scala. Di conseguenza pur imponendo identiche condizioni di ossidazione anche per tempi prolungati ad aree della stessa piastra "marcate" in modo diverso - e questo può essere fatto ad esempio con un pennello opportunamente adattato per trasportare corrente e portato a potenziali superiori e/o inferiori alla soglia critica - si possono variare i toni cromatici ma sempre all'interno della propria scala e perciò senza mai cancellare le differenze cromatiche esistenti tra le aree diversamente "marcate".

In questa sede accenniamo solo ad alcune delle applicazioni rese possibili dalla disponibilità dei colori della seconda scala accanto a quelli della prima e precisamente ad applicazioni: a) decorative e/o pittoriche; b) crono fotografiche; c) elettrochimiche.

Applicazioni decorative e/o pittoriche

La proprietà del titanio di "memorizzare" le condizioni elettrochimiche iniziali dell'ossidazione consente anzitutto di trasformare alla superficie metallica in

segni grafici ed effetti di colore, in modo prevedibile e riproducibile, una serie di impulsi elettrici imposti dall'esterno.

In particolare se si applica al pennello con un opportuno generatore di impulsi un potenziale che porti il titanio successivamente a potenziali superiori e inferiori alla soglia critica si ottengono dei segni (ritmati come gli impulsi inviati dal generatore) che sono la traccia fedele di come il movimento del pennello è stato prodotto alla superficie del titanio (fig. 1).

La "memoria" del titanio può essere utilizzata a fini pittorici anche in altro modo. Le tinte all'interno della seconda scala dipendono dalla storia elettrochimica iniziale di formazione dell'ossido cioè da quello che potremmo definire il profilo iniziale di potenziale (che per un dato punto alla superficie del titanio è l'andamento del potenziale a partire dall'istante in cui l'elettrolita viene a contatto con quel punto).

Il profilo iniziale di potenziale, e quindi i conseguenti effetti di colore, possono essere variati e controllati dall'operatore anche in modo molto semplice, ad esempio variando la velocità e le modalità con cui si muove il pennello alla superficie della lastra. Ciò è dovuto al fatto che durante lo stadio iniziale dell'ossidazione si verificano forti variazioni di resistenza per cui si ottengono profili diversi cambiando la velocità di esposizione di nuove aree al bagno ossidante.

Applicazioni cronofotografiche

La "memoria del titanio" può essere sfruttata anche per mettere a punto un metodo che consente di evidenziare e di fissare alcuni aspetti - a volte altrimenti invisibili - relativi a fenomeni naturali che si producono alla superficie del titanio.

Basta infatti imporre al metallo un potenziale oscillante attorno al valore di soglia per ottenere la posizione del fronte avanzante del liquido ad intervalli di tempo pari a $1/2 f$ (se f è la frequenza con cui oscilla il potenziale). In modo analogo si possono ottenere alla superficie del titanio le successive posizioni del fronte di un liquido che ne sposta un secondo oppure si dissolve o reagisce con questo. Si tratta quindi di una tecnica cronofotografica di visualizzazione e di registrazione che anzi tutto può risultare utile per studiare il movimento di liquidi conduttori. Ad esempio essa rende possibile l'osservazione degli effetti provocati dalla presenza di ostacoli, da particolari geometrie, ovviamente solo nel transitorio iniziale in cui il liquido bagna per la prima volta il metallo. In particolare il metodo può trovare interessanti applicazioni in condizioni ed in situazioni in cui altre tecniche di visualizzazione non possono operare. Può essere questo ad esempio il caso in cui il movimento avviene all'interno di un'apparecchiatura o alla superficie di strutture interrate, ecc.

Ma accanto a questi aspetti tipicamente "fluidodinamici" il metodo consente di coglierne altri più specificamente "chimico fisici" e di misurare grandezze come la velocità di miscelazione o di reazione tra due liquidi, o di evidenziare come i liquidi a contatto mantengano unico il

fronte di separazione o quale sia, invece, la loro tendenza a dare emulsioni ecc. A questo proposito il metodo ha consentito di osservare molti aspetti finora sconosciuti.

Nelle figure 2-8 sono riportati alcuni esempi di visualizzazione di fenomeni fluidodinamici o chimico - fisici resi possibili da questa tecnica.

Applicazioni elettrochimiche

A differenti caratteristiche cromatiche degli ossidi corrispondono differenti caratteristiche elettrochimiche. Ad esempio i film della prima scala sono meno conduttori di quelli della seconda. In ogni caso la conducibilità di tutti questi ossidi può venire aumentata se vengono trattati catodicamente oppure mantenuti in soluzioni acide o ancora se posti in ambienti di idrogeno ad alta temperatura. I film così trattati presentano interessanti caratteristiche fotoelettrochimiche interessanti come quelle già determinate per ossidi prodotti in ambiente alcalino (4).

Bibliografia

- (1) Pietro Pedferri, "Disegni su titanio", Ed. CLUP, Milano 1981;
- (2) Pietro Pedferri, "Colori su titanio", Ed. CLUP, Milano 1982;
- (3) Pietro Pedferri, "Movimenti su titanio", Ed. CLUP, Milano 1984;
- (4) L. Peraldo Bicelli, P. Pedferri, G. Razzini, "Anodically Oxided Titanium Films to be used as Electrodes in Photoelectrolysis Solar Cells" Int. J. Hydrogen Energy 11, pp. 647-651, 1986.

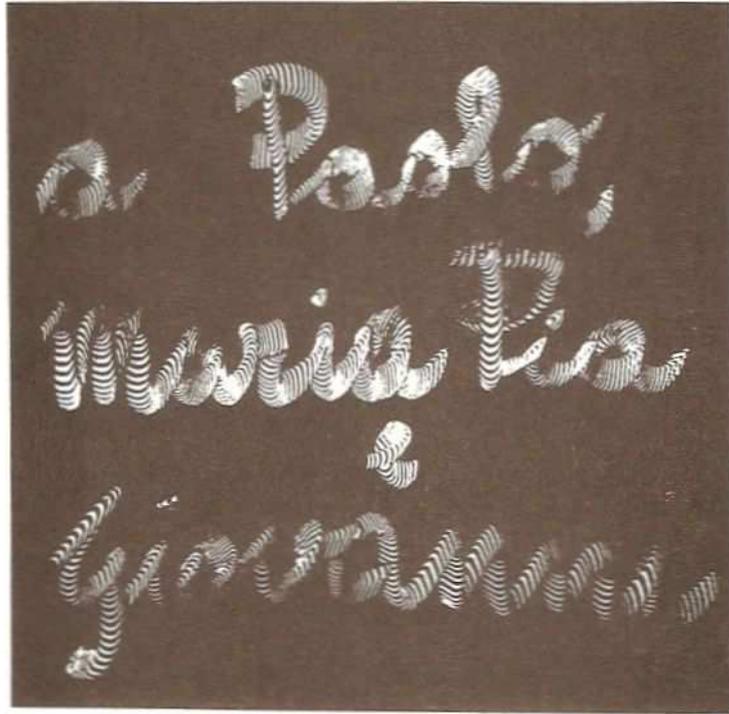


Fig. 1



Fig. 2

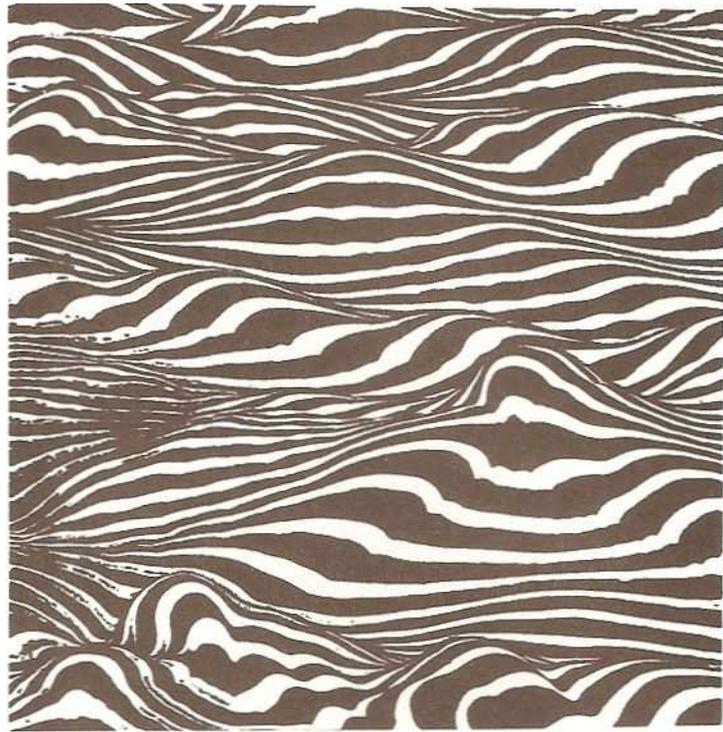


Fig. 3

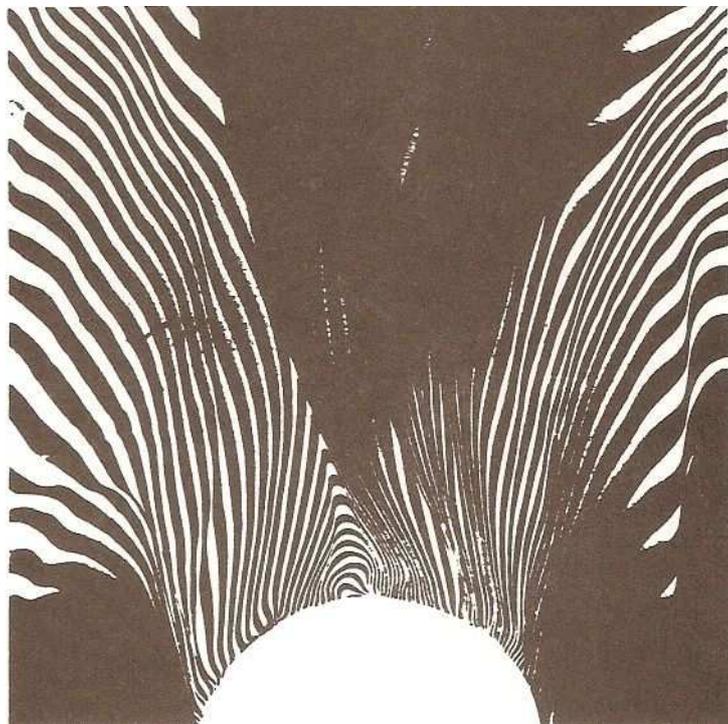


Fig. 4

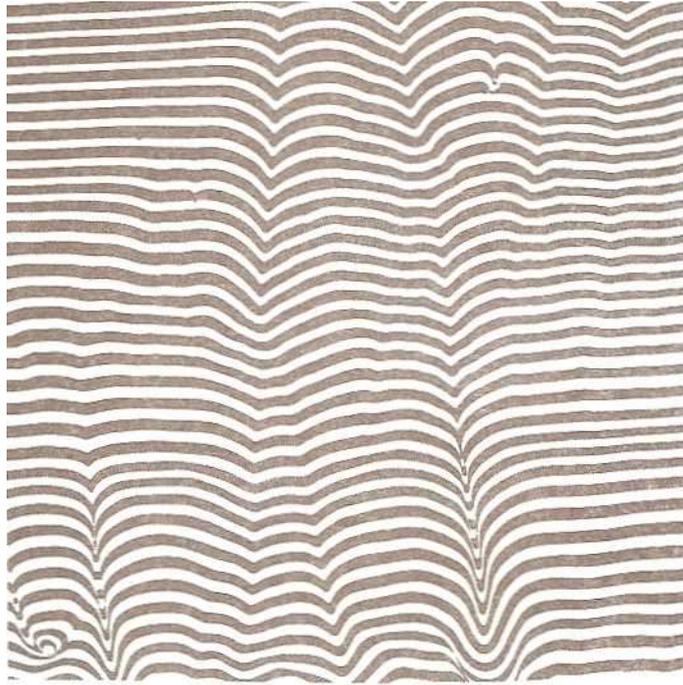


Fig. 5

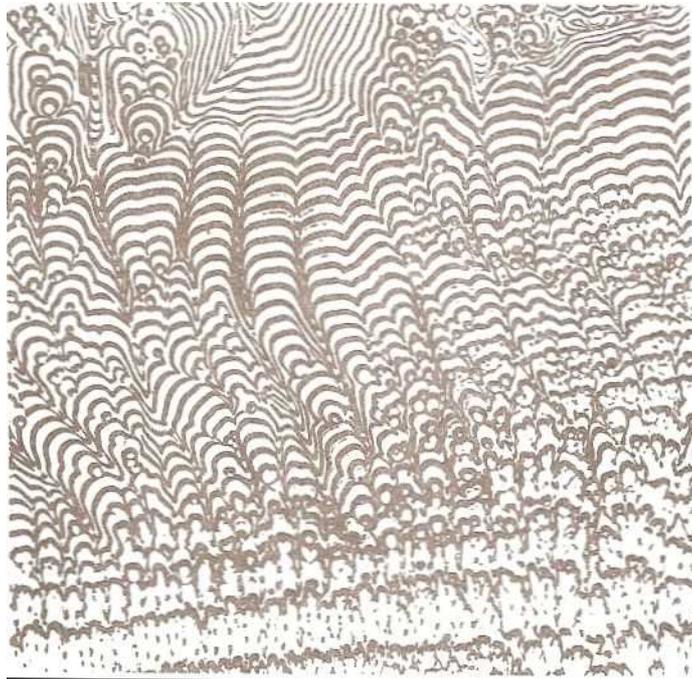


Fig. 6

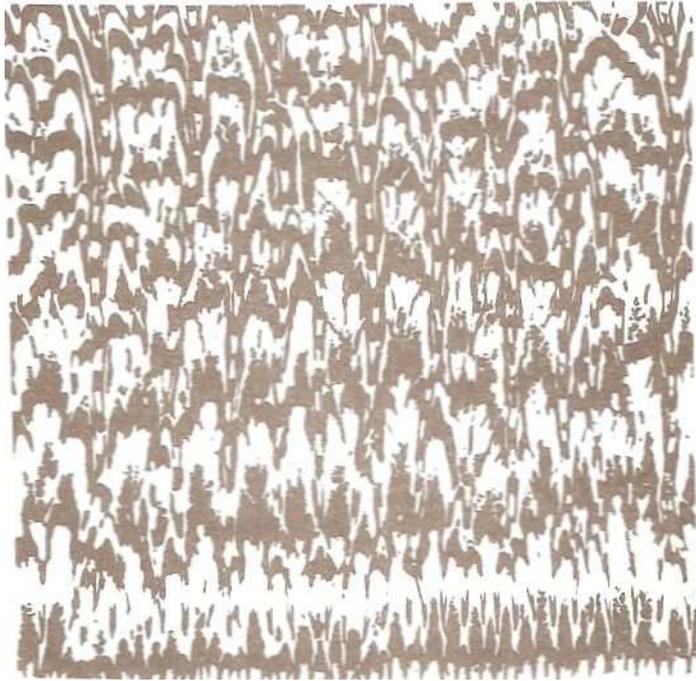


Fig. 7

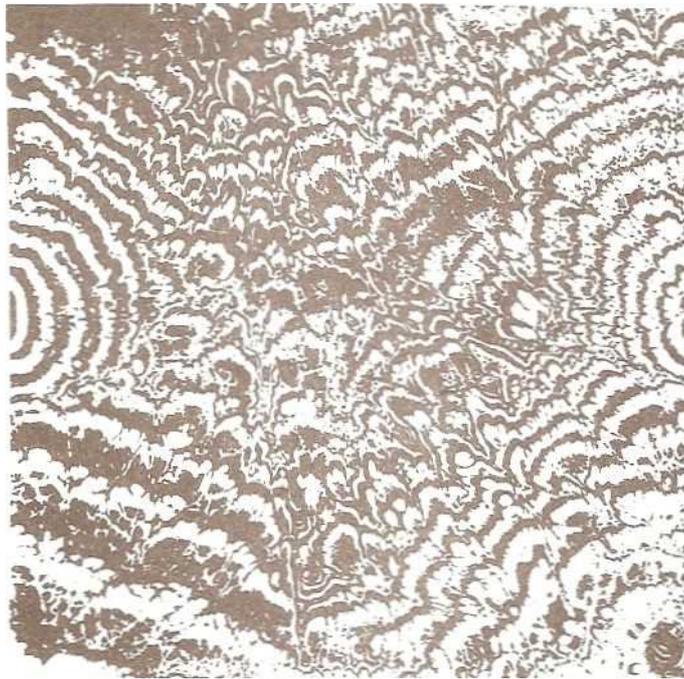


Fig. 8

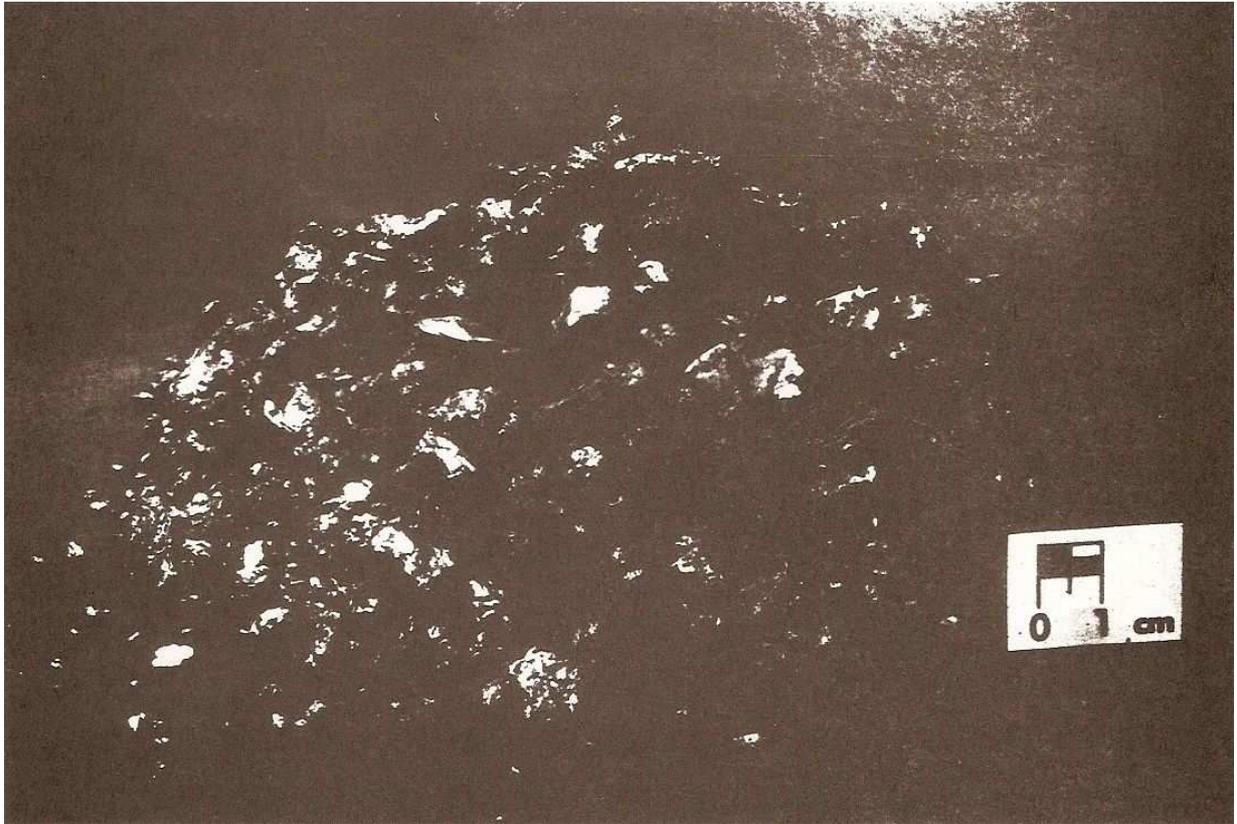


Fig. 1: Magnesium-reduced titanium sponge

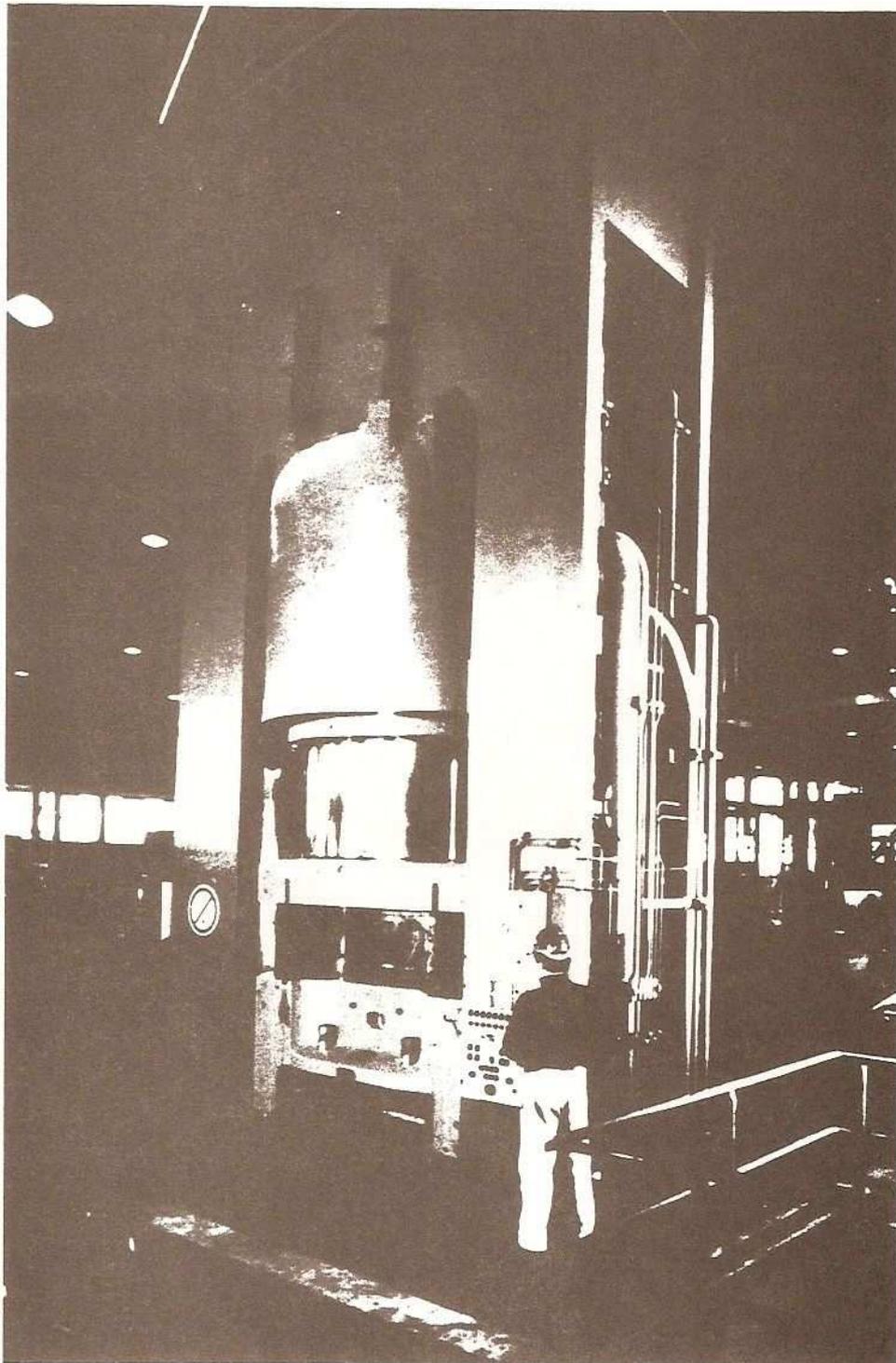


Fig. 2: Sponge press (7500 t)

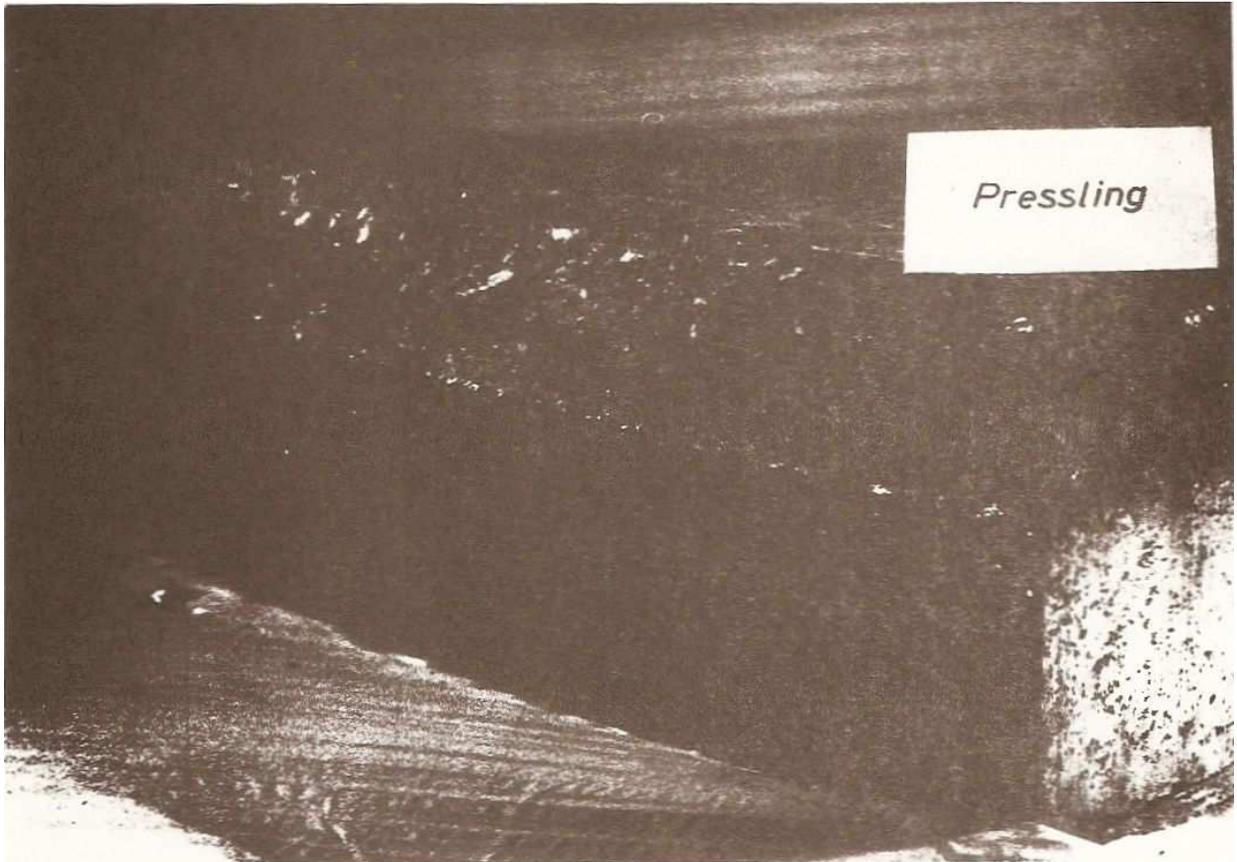


Fig. 3: Titanium compact

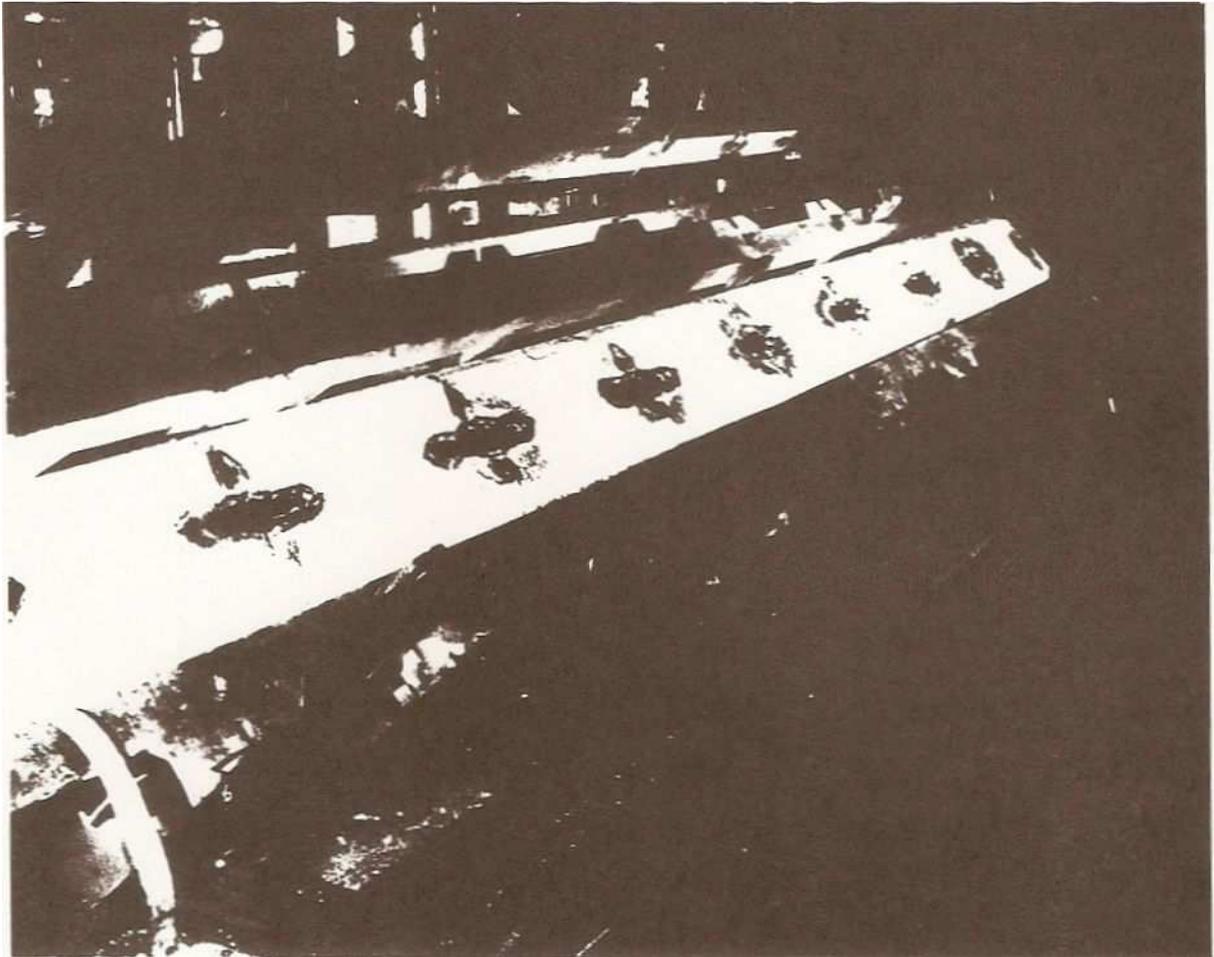


Fig. 4: Welded compacts

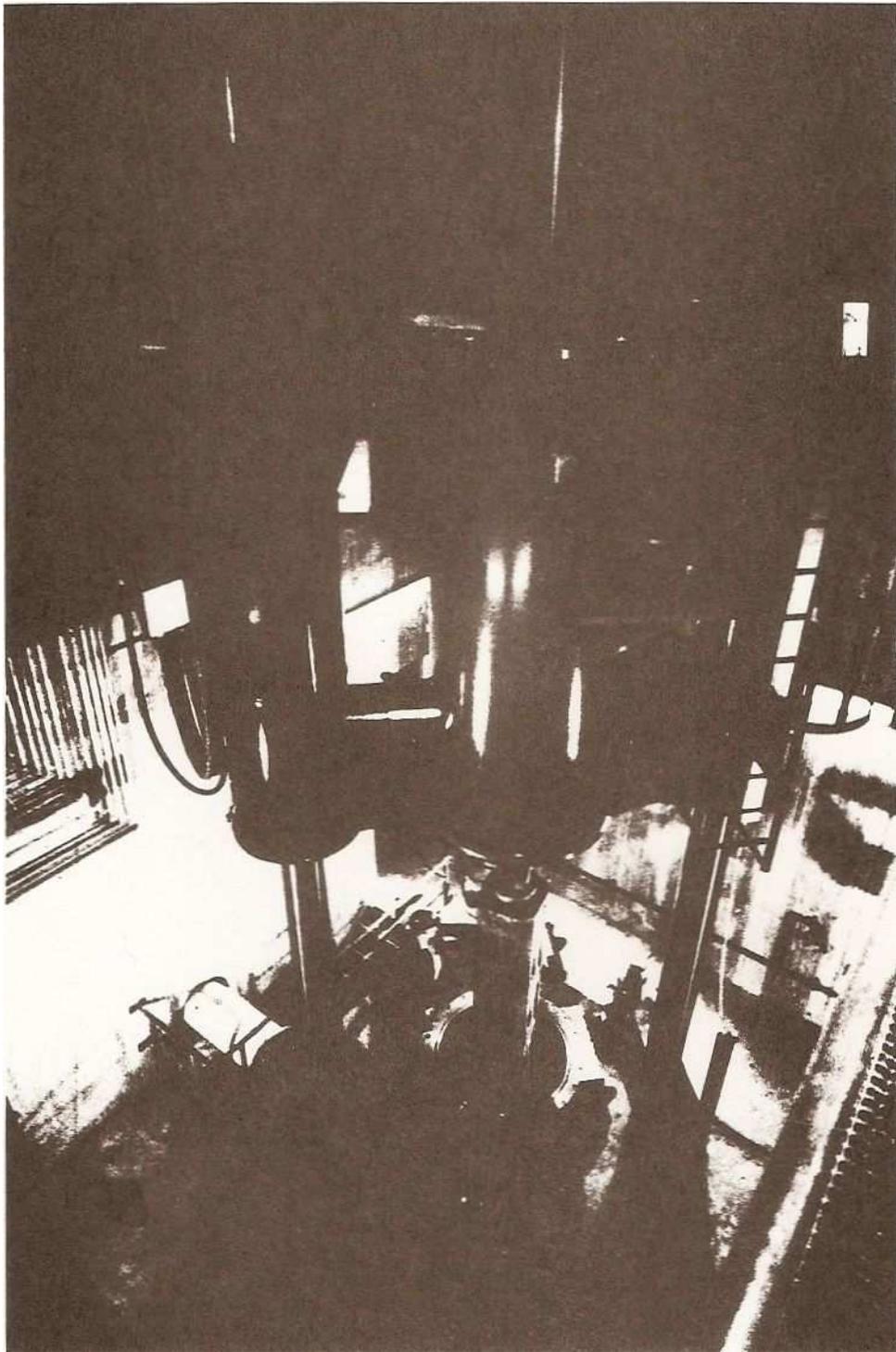


Fig. 5: Vacuum arc furnace

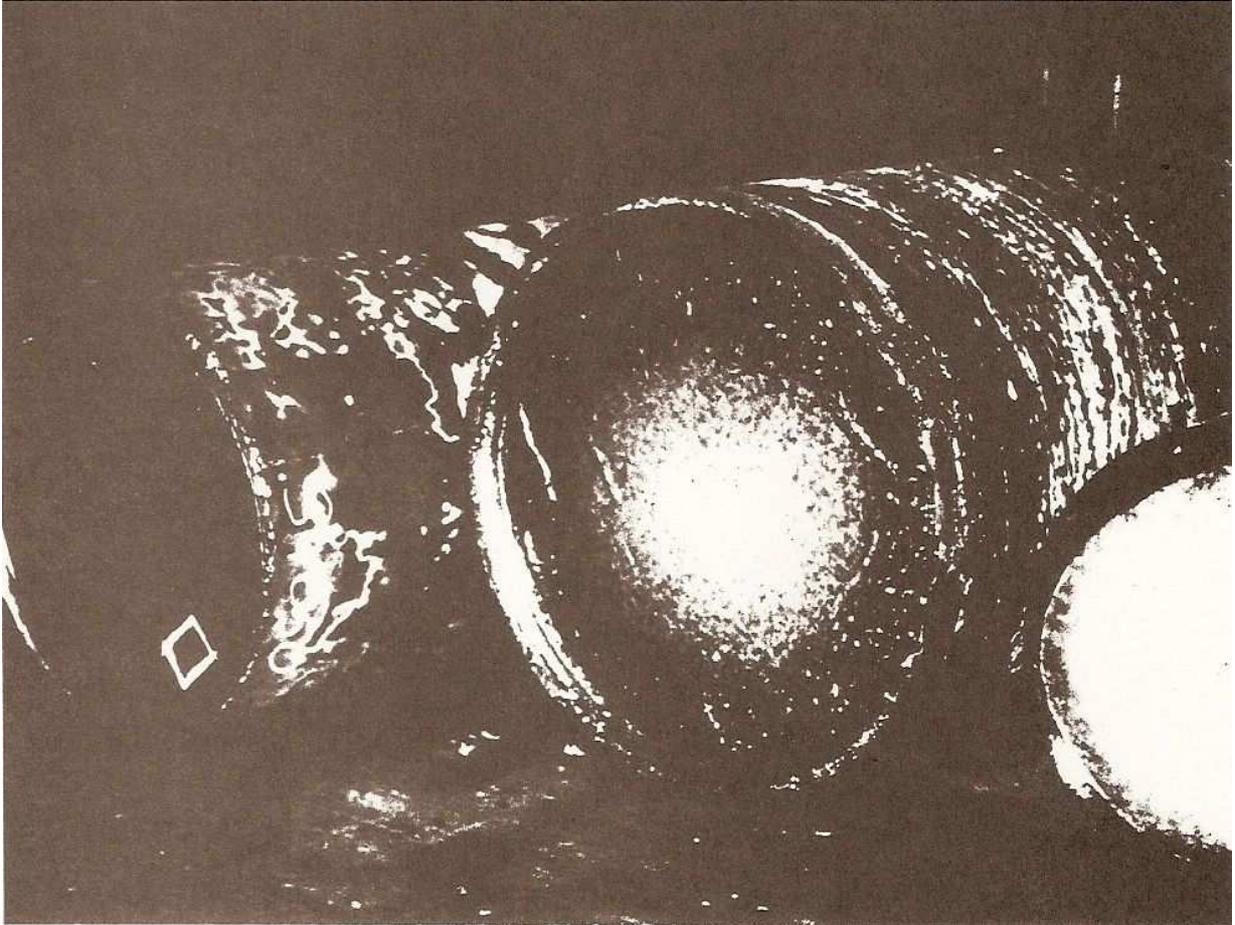


Fig. 6: Titanium ingots

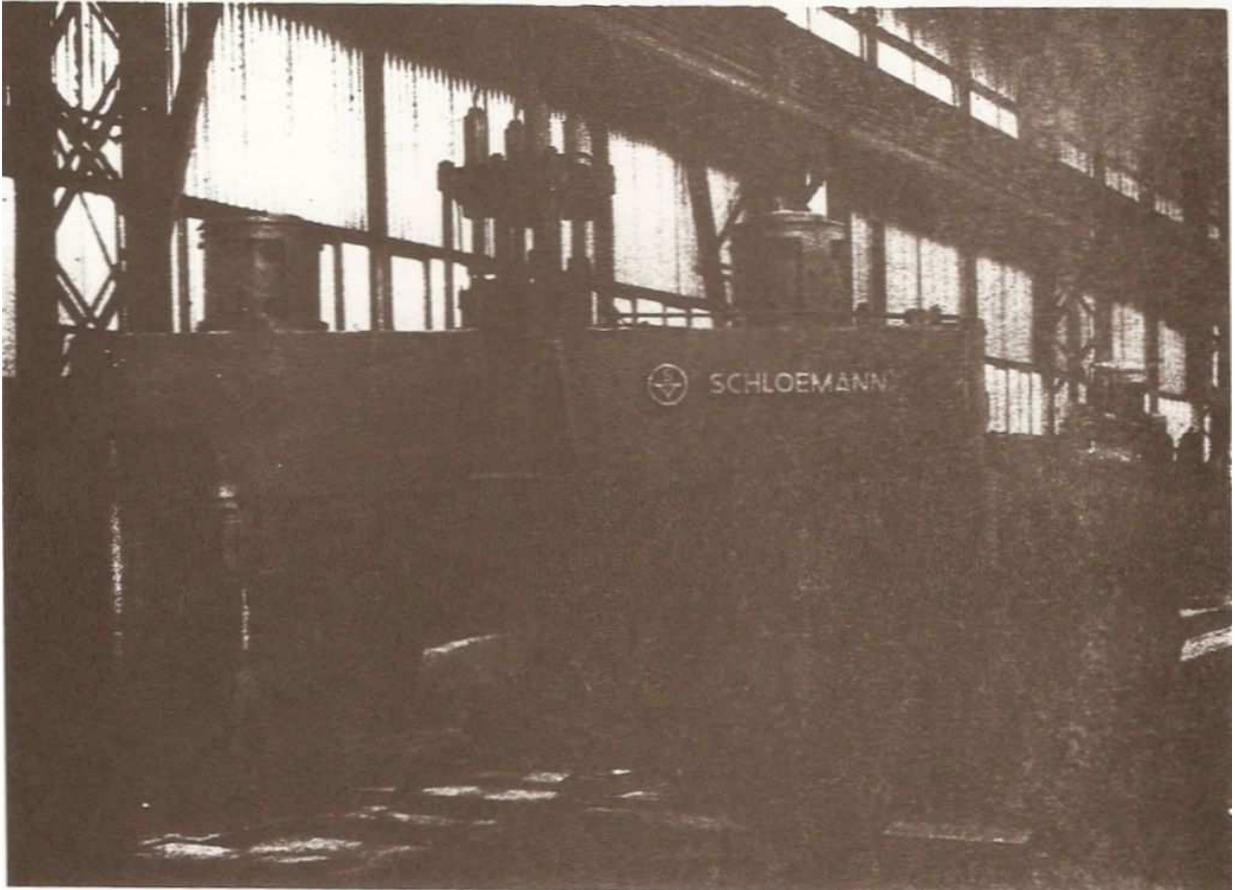


Fig. 7: Forging press (1400 t)

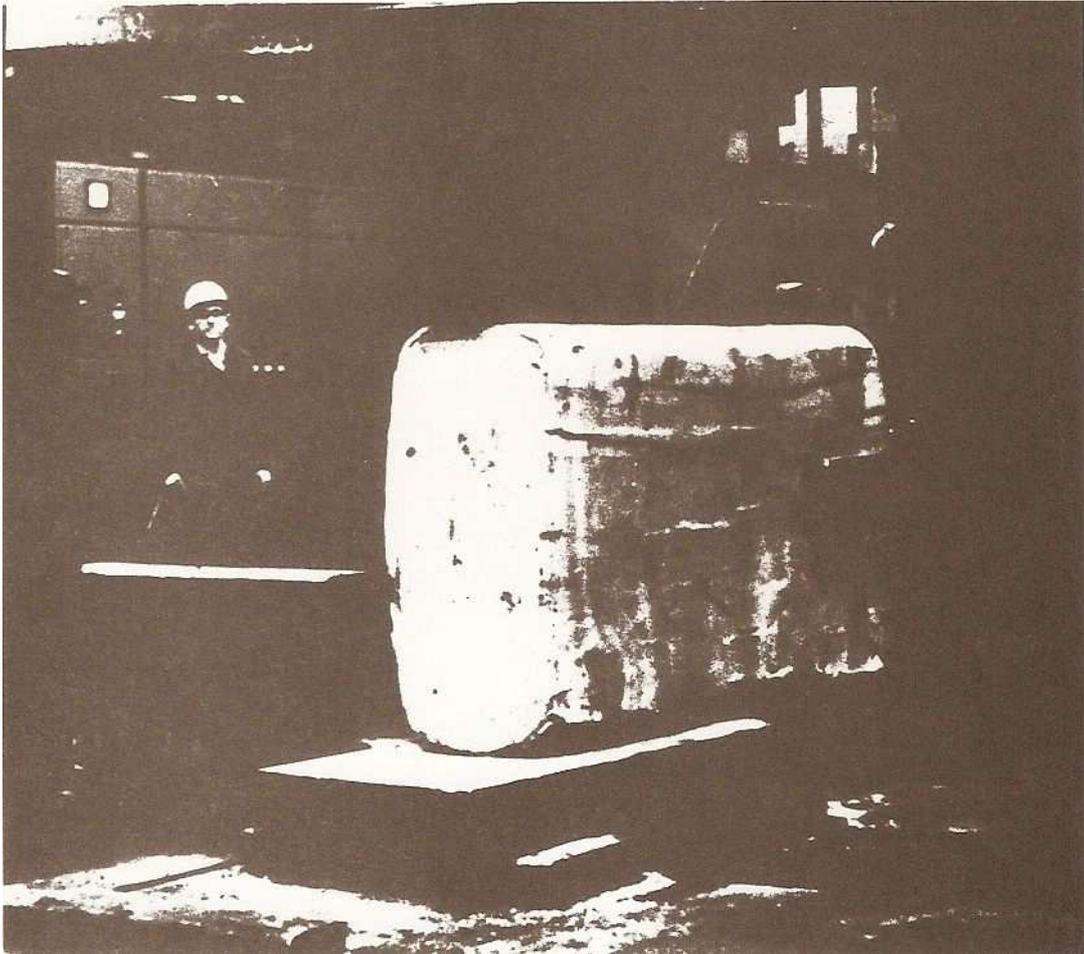


Fig. 8: Titanium slab (7 t)

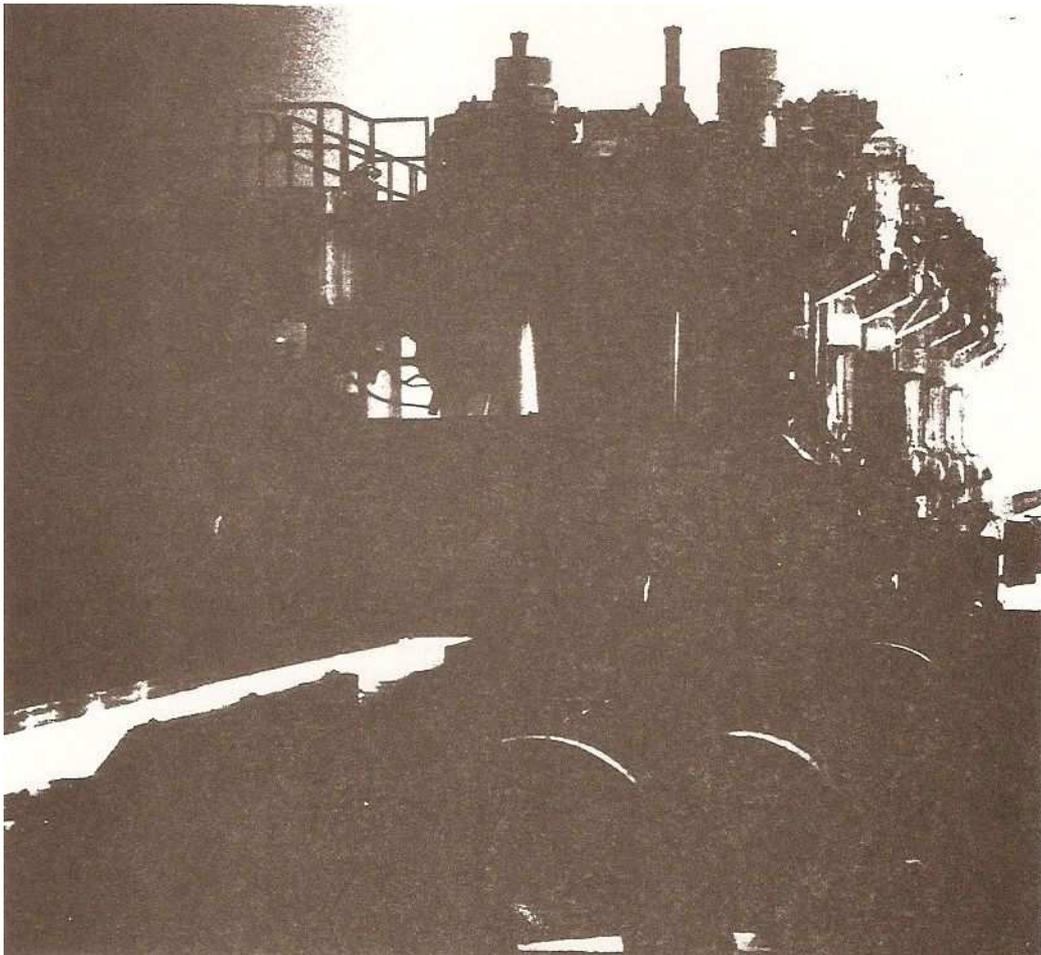


Fig. 9: Wide strip rolling mill with seven finishing stands