

大容量蒸気タービンの材料について

Materials for Large Steam Turbine

河田安司*
Yasuji Kawada

内 容 梗 概

最近蒸気タービンは次第に高温、高圧、大容量となりつつあり、超臨界圧力プラントが出現するまでになっている。こうした著しい火力の進歩に即応して日立製作所においては、大容量タービンの材料に関して種々の研究および検討を行ない、できるだけ強度の高い優秀な材料の出現に努力している。本文においては材料面より見た場合、オーステナイト系材料を用いなくとも 566°C までの再熱タービンの製作に関して、日立製作所が十分な使用標準材を有していることを述べ、あわせて耐熱材料の研究態勢と将来の研究方向についての私見を述べる。

1. 緒 言

わが国の発電量は今後の工業の発展を考えると、いまだ十分とはいえず、今後ますます増大することが考えられる。また一方国内における水力発電の有利な開発地点がほとんど残されていないことや、将来において原子力発電が実用化されるようになったときこれに用いられる原動機が、蒸気タービンであることを考えあわせると、熱効率の高い発電原価の安い大容量、高能率タービンの出現が、ますます必要になってくると考えられる。

以下において筆者は、これら大容量、高能率タービンの製造に関し、材料面より見た場合日立製作所が十分な検討のもとにその使用標準を定めていることを述べ、あわせて蒸気タービンの材料の使いわけについて述べるものである。

2. 主 蒸 気 管

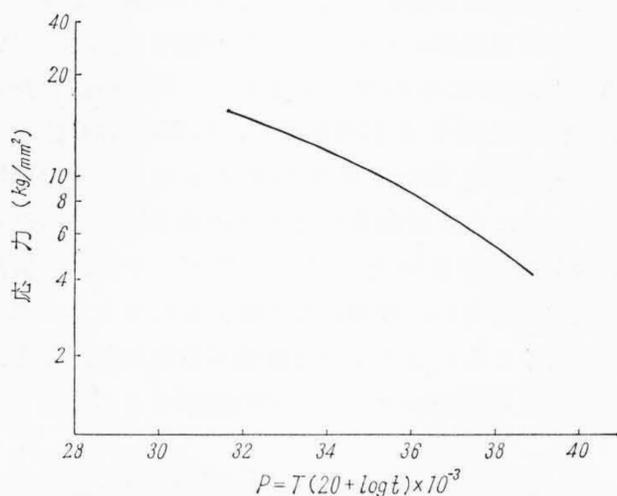
主蒸気管はタービンの部品中最も高温にさらされるため、高温における諸性質が良好でなくてはならない。主蒸気管材としては高温におけるクリープ強度を増加させ黒鉛化あるいはスケーリングに対する耐久性を増加させるなどの意味のもとに Mo および Cr を入れた材料を使用している。クリープ強度に関しては、10,000 時間の Rupture 強度を基礎にして蒸気管の強度を決定している。これは主蒸気管がタービンの回転部分のごとくわずかなクリープ伸びの

ために、他の部品と接触する恐れのあるものと異なるためであり、GE 社の A. W. Rankin 氏もこの点を特に指摘している。しかし 100,000 時間の Rupture 試験を行なうことは、試験時間として連続 10 年以上を要するので実際には不可能なことである。このため実用上はもっと短時間の試験を行なって 100,000 時間の Rupture 強度を推定しているが、これには Larson & Miller 法と呼ばれる方法があり、Master 破断曲線に整理される。日立製作所においては数千時間の試験時間をもってその強度の推定を行なっている。一例として第 1 図に 2¼Cr-1Mo 鋼の Master 破断曲線を示す。

第 1 表は、日立製作所における主蒸気管の材料と使用範囲を示したものである。すなわち 399°C 以下は炭素鋼を、400~537°C に対しては 1½Cr-½Mo 鋼を使用している。538~566°C に対しては 2¼Cr-1Mo 鋼を用いている。すでに述べたが主蒸気管においては、クリープ強度を増す意味で Mo を入れ、黒鉛化あるいはスケーリングに

第 1 表 主蒸気管材料の温度による使用区分

温度 (°C)	主 蒸 気 管 材 料
399 以下	炭 素 鋼
400~537	1½Cr-½Mo 鋼
538~565	2¼Cr-1Mo 鋼
567 以上	オーステナイト 鋼

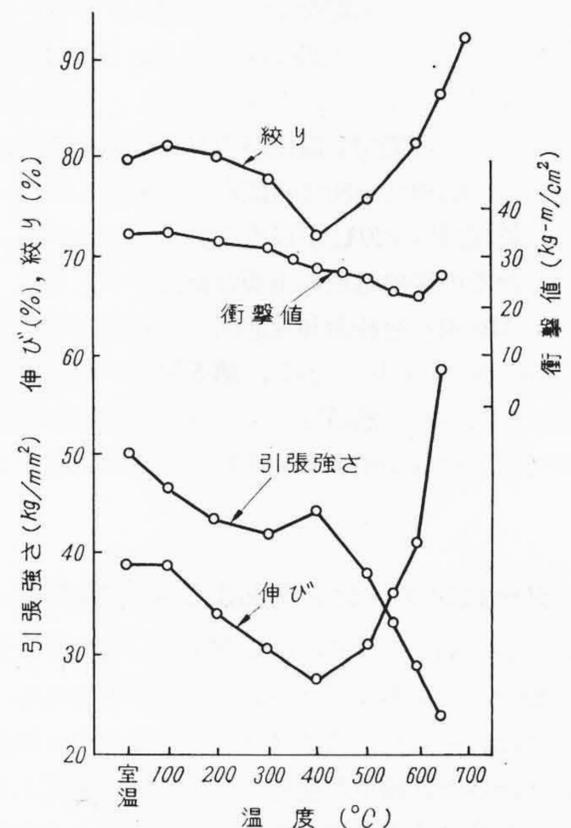


パラメータ $R = T(20 + \log t) \times 10^{-3}$

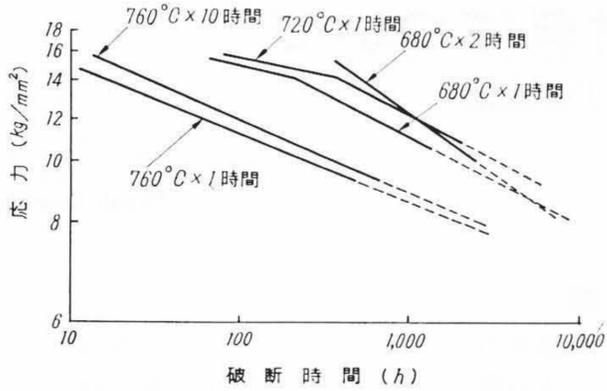
時 間	450°C	500°C	550°C	600°C	650°C	700°C
100	28.62	30.60	32.58	34.56	36.54	38.52
1,000	29.92	31.99	34.06	36.13	38.20	40.27
10,000	31.22	33.38	35.54	37.70	39.86	42.02
100,000	32.52	34.77	37.02	39.27	41.52	43.77

第 1 図 2¼Cr-1Mo 鋼の Master 破断曲線

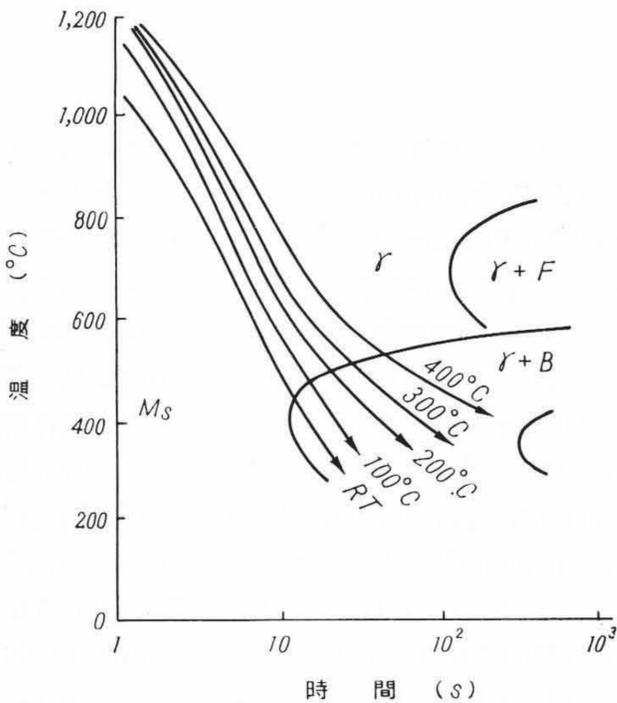
* 日立製作所日立工場



第 2 図 2¼Cr-1Mo 鋼主蒸気管の引張および衝撃値



第3図 2 1/4 Cr-1 Mo 鋼の焼入焼戻材のクリープ破断曲線 (600°C)



第4図 2 1/4 Cr-1 Mo 鋼の CCT 曲線と予熱温度を変えた場合の冷却曲線との関係

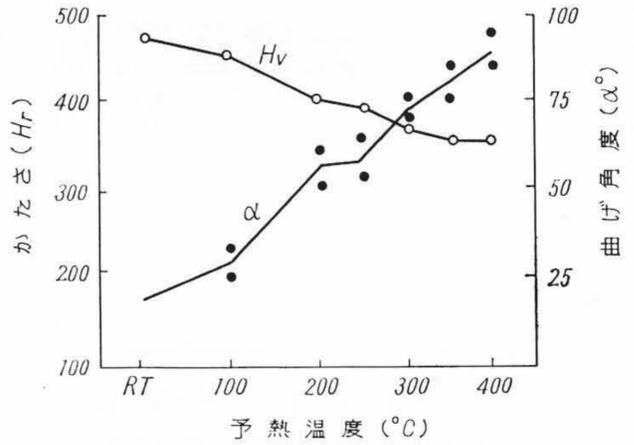
に対する耐久性を増加させるために Cr を入れるが、溶接性の点もあわせ考察すると Cr はあまり増さない方がよい。

第2図は 2 1/4 Cr-1 Mo 鋼の高温強度を示す。引張強さは 400°C までは温度の上昇につれてわずかに低下するが、それ以上になると急減する。衝撃値は 500~600°C で減少を示すが絶対値は高い。第3図は 1,000°C から油焼入れ後 680, 720°C または 760°C で各時間焼戻した試料のクリープ破断曲線を示す。焼戻温度が低いと短時間側では高い破断応力を示すが、長時間側では急に減少する。720°C で焼戻したものは全般的にゆるやかな曲線を示し、長時間側で高い破断応力を有する。さらに焼戻し温度が上昇して 760°C になると曲線は急傾斜を示し、低応力で破断する傾向を示す。したがって、これらの結果からは焼戻温度 720°C が最もよいことがわかる。このことは鋼管を溶接した際の後熱処理に重要な指針を与える。

第4図は Cr-Mo 鋼の連続冷却変態図と予熱温度を替えた場合の熱影響部の冷却曲線との関係を示し、第5図は単層溶接部の曲げ試験結果である。これから予熱温度を上げると溶接熱影響部の組織が改善されるので曲げ角度が増加し靱性(じんせい)の増すことがわかる。

3. タービンケーシングおよび主弁類ボディ

主蒸気管について高温になるのは主塞止弁、再熱塞止弁、中間阻止弁など主弁類のボディおよびケーシングの材料である。鋳鋼ケーシングにおいては、その鋳造時にクラックの発生する場合がありますのでその構造はできるだけ簡単な構造をして、その製造上また検査上作業のしやすい形状にする必要がある。また構造上その軸方向に温度変化があるので作業のしやすい形状をとるとともに経済性をもた



第5図 2 1/4 Cr-1 Mo 鋼の溶接部の曲げ試験結果

第2表 ケーシングおよびバルブボディ用材料の温度による使用区分

温度 (°C)	ケーシングおよびバルブボディ用材料
399 以下	炭素鋼
400~440	1/2 Mo 鋼
441~584	1 1/4 Cr-1 Mo 鋼または 1 1/4 Cr-1 Mo-1/4 V 鋼
585 以上	オーステナイト鋼

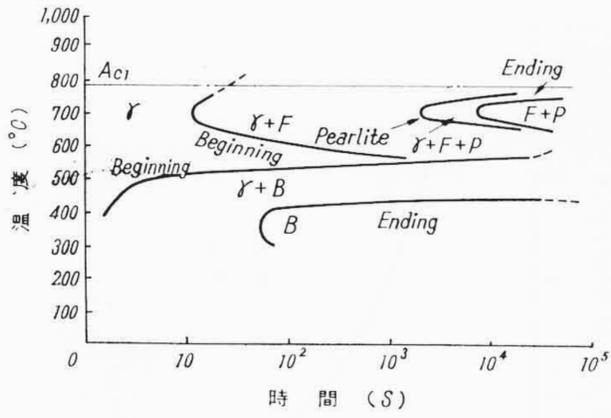
せた構造として蒸気室部分を上下に分割して溶接により一体とする構造がとられている。したがってケーシング用材料の場合その高温強度の優秀さと同時に良好な溶接性を有する材料でなくてはならない。

第2表は日立製作所におけるタービンケーシング材およびバルブボディ材の使用標準を示したものである。

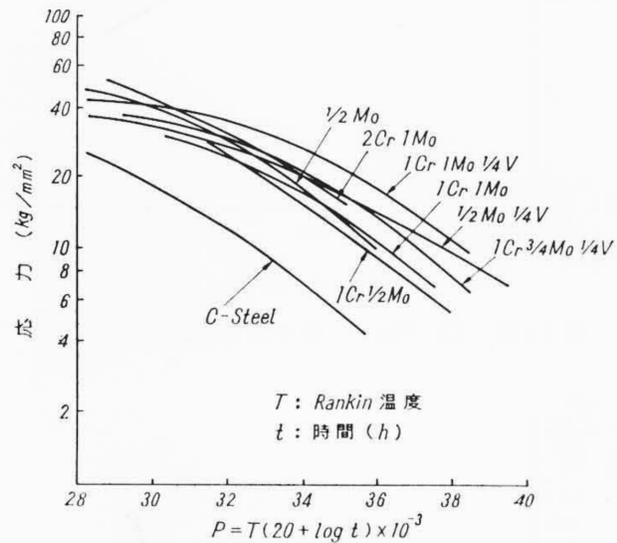
ケーシング材においては黒鉛化防止のために Cr を加えているが、Cr 含有量が増すと溶接性の困難が伴うし、また、Cr を増加してもかならずしも高温強度は伴わない。むしろ Cr 含有量は 1% 程度に押えて V を添加する方が有効である。したがって黒鉛化防止のためには Cr を 1% 程度入れる。なお製鋼の際には Al による脱酸を行わず、Ti による脱酸を行なうなどの方法も講ずる。また、低温における靱性を失うことなく、高温における Rupture 強度の高いものを得る必要がある。最良の熱処理温度および時間を各材料につき S 曲線を求め、それを基にして定めることはもちろんであるが、そのほかケーシングと蒸気室あるいはバルブとパイプの間に溶接により接続される個所があるので、これら鋳鋼材の溶接性および溶接前後における熱処理に関しても十分に検討する必要がある。日立製作所においては溶接棒の検討を含めたこれら一連の研究を行ない、信頼性のもてる作業基準にしたがってその製作を行なっている。

Cr-Mo-V 鋼の溶接にその例をとると、これに類似した成分の低水素形の溶接棒を使用するが溶接に先だち 250~300°C で十分に予熱を行ない溶接の際に Crack 発生の原因となる水素の拡散を十分にさせてやる。これにより溶接部の境界層に逃げ場を失った水素が、密閉され Crack 発生の原因となるのを防ぐ。また、溶接部は溶接後十分な焼戻しを行ない、残留応力の除去を行なう。このような予熱、後熱を行なうことにより完全な溶接が行なわれ、また、溶接の際の残留応力により使用中ケーシングの変形するの防ぐことができる。

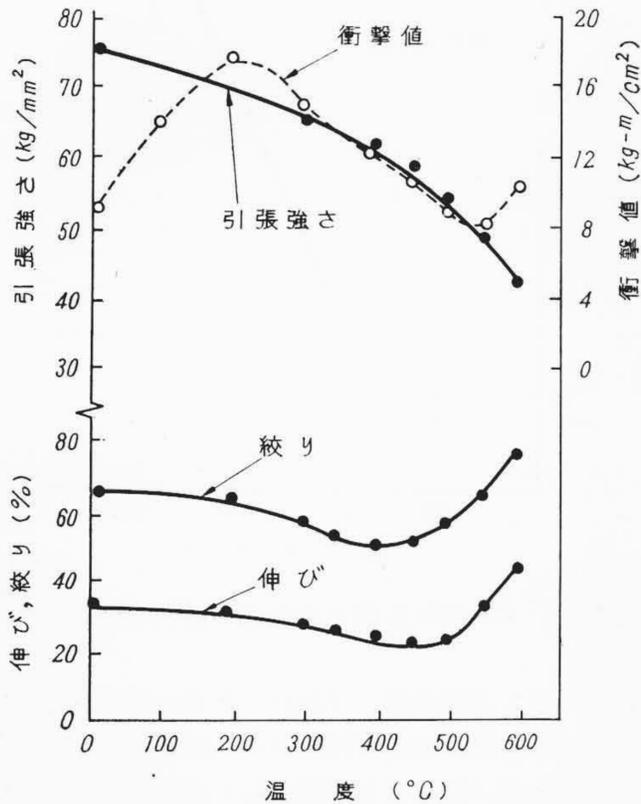
また 2 1/4 Cr-1 Mo 鋼に例をとり最高加熱温度 1,200°C からの連続冷却変態図と予熱したときの溶接熱影響部の冷却曲線を示すとそれぞれ第6図および第4図のようになる。これによると予熱なしでは熱影響部の冷却速度は速く、組織は大部分マルテンサイトで著しくかたいが、予熱温度の上昇とともに冷却速度は小さくなり、マルテンサイトは減少しベイナイト変態量が増し一方かたさは低下してじん性が増す。予熱温度の決定に当たってはこれら金相学的検討に加えて、さらに拘束き裂性試験を実施する。これによると溶接後溶接



第6図 2 1/4 Cr-1 Mo 鋼の恒温変態図



第7図 各種铸鋼の Master 破断曲線

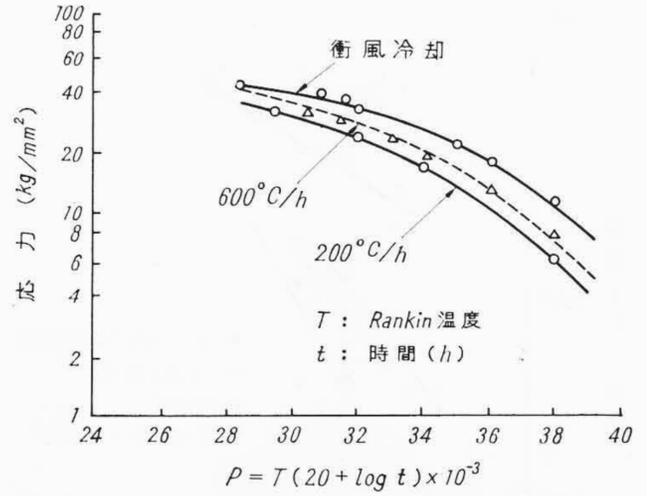


第8図 Cr-Mo-V 铸鋼の高温における機械的性質

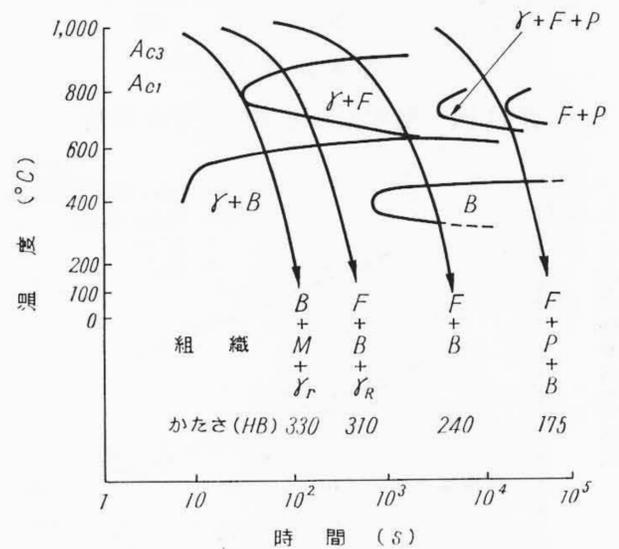
部は収縮するが予熱しないものは約1時間後に急に膨張し、ここでき裂を生ずる。しかし200°C予熱を行なった場合にはき裂は発生せずひずみ変化は収縮のみを示した。この予熱温度は200~300°Cが適当であるが、溶接物の拘束度の大小により若干変動する。

後熱処理については後熱温度が低い場合熱影響部の組織が不安定でその使用期間中に焼戻しが進行するので強度低下が大となり、高すぎると炭化物反応によってフェライト地中のCr+Moが炭化物中に移行し、地の合金濃度が薄くなり、炭化物も凝集して球状化し強度が低下する。2 1/4 Cr-1 Mo 鋼の場合は720°C付近で後熱したものがよい。

第7図は各種铸鋼の Master 破断曲線を示す。Mo-V 铸鋼は比較



第9図 1Cr 1Mo 1/4 V 铸鋼の Master 破断特性



第10図 Cr-Mo-V 铸鋼の恒温変態図

的良好な高温強度を有するが、高温で長時間使用すると組織中の炭化物が黒鉛化する傾向を示すのであまり高温では使用できない。炭化物の黒鉛化を防止するには1%程度のCrの添加が最も有効であることはすでにのべた。

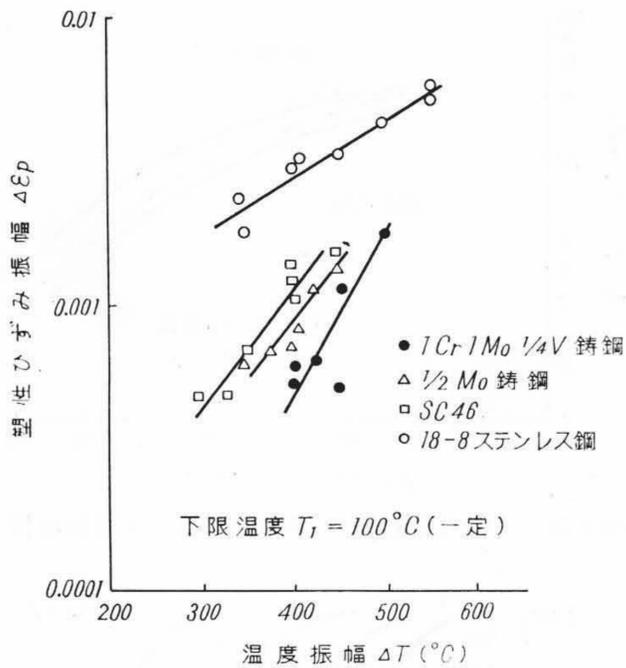
Crを1%程度含ませることにより焼入性は著しく良好となるが、それだけ溶接上の困難さをます。フェライト系铸鋼の中で最も高温強度の大きい鋼種はCr-Mo-V 铸鋼である。

第8図はCr-Mo-V 鋼の高温強度を示し、第9図は焼入冷却速度が Master 破断特性に及ぼす影響を示す。引張強さは温度の上昇とともに減少するが550°Cでなお50 kg/mm²に及ぶ高い強度を有しており、衝撃値は200°Cで最高値に達し、550°Cで谷をつくるが、その値は8 kg-m/cm²で高い、Master 破断曲線にて明らかなように、衝風冷却のものが最も大なる高温強度を有し、冷却速度600、200°C/hの順で減少している、すなわち焼入冷却速度が大きいほど高温強度は高い。

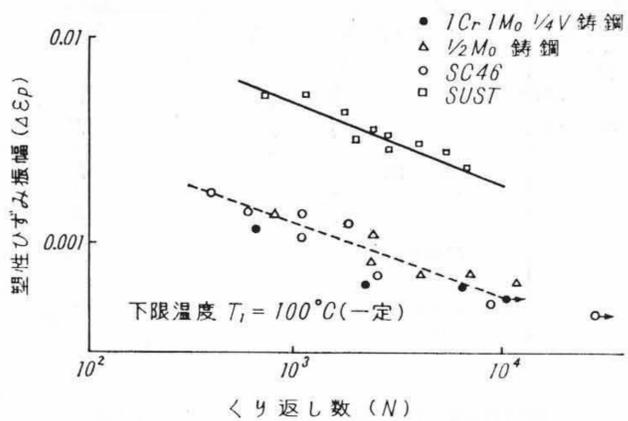
第10図はCr-Mo-V 铸鋼の恒温変態図を示す。図にて明らかなように、焼入れ時の冷却速度が遅くなると組織がかわりかなさが減少する。前述せるようにこの冷却速度による組織の変化が高温強度に重要な関係をもつので、実製品においては形状肉厚を考慮し、良好な機械的性質が得られるよう特殊な冷却法をくふうしている。

タービンケーシングのように複雑な形状を有している部材の設計にあたっては以上のほかに熱疲労強度が問題となる。これはタービンの起動停止に伴う熱ひずみの繰返しによる疲労によりケーシングに経年き裂が発生するおそれのあるためである。タービンの高温高圧化や、また運転面で従来以上の急速起動が望まれている現状からみて熱ひずみを小さくするような設計上の改善を必要とすることはもちろんであるが、材料の熱疲労強度についても十分なる検討を行なう必要がある。

第11図は温度振幅ΔTとそれによって生ずる塑性ひずみΔε_pの



第11図 温度振幅と塑性ひずみ振幅



第12図 塑性ひずみ振幅と破断繰返数

大きさの関係を示すものである。これにより同じ ΔT によって生ずる $\Delta \epsilon_p$ の大きさが材料によって著しく異なることがわかる。この図からわかるように鋳鋼の中では降伏点の高い 1Cr-1Mo-1/4V 鋼がほかの鋼と比べて塑性ひずみが生じにくい点で有利である。なぜならば、試験片に加熱冷却を与えそれに伴う塑性ひずみのくり返しを試験片にき裂が生ずるまで続け、半サイクル間に生ずる塑性ひずみ $\Delta \epsilon_p$ とき裂発生までの繰返数 N との関係求めたのが第12図であり、同図からわかるように両者の関係は両対数グラフ上ではほとんど直線となり数式的には次式で表わされるからである。

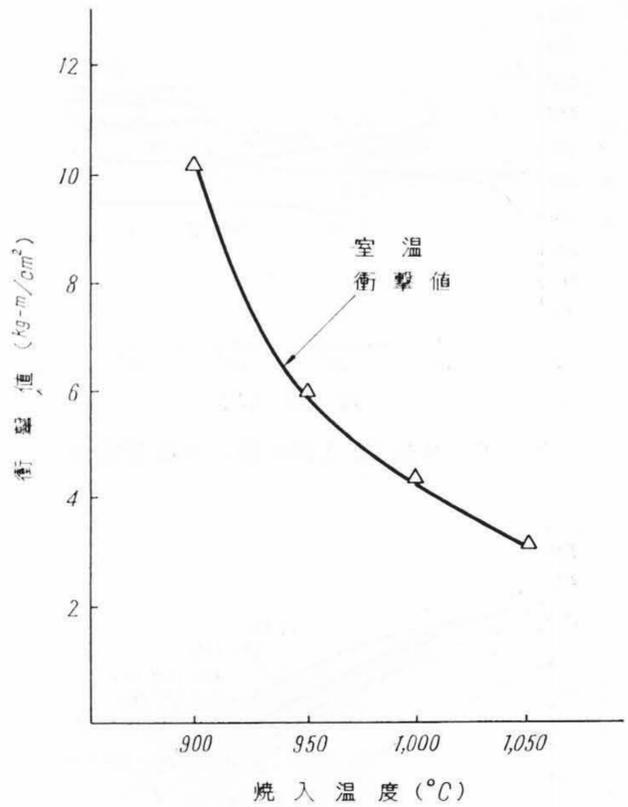
$$N \propto \Delta \epsilon_p = k$$

4. タービンロータ

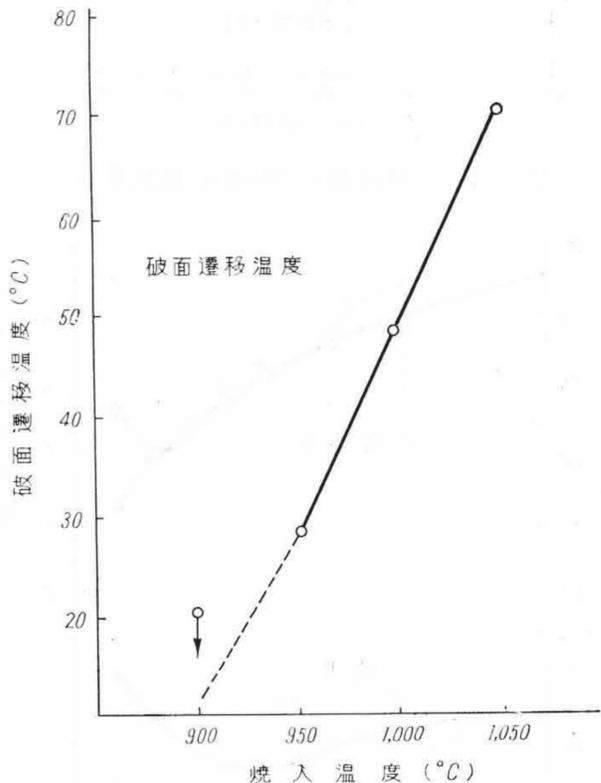
タービンロータは第1段ノズルを通過した後の蒸気が触れるためケーシングほど温度は高くないが、そのかわり遠心力および蒸気の衝撃により大きな応力を受けるため優秀な高温強度を必要とする。また、高速回転体であるため高温における曲りに対して絶対に安定であることが必要となる。さらに単一機において大容量の発電を行なうため、最終段には長翼を使用するので特に大きな遠心力が発生し、そのため従来に対して回転破壊強さに対しても十分なる考慮をはらう必要がある。

従来ロータ材には、油焼入による材料が用いられてきたが、油焼入をした材料は焼入の際急冷により、大きな内部応力を残しやすく、また均一な材質を得ることが困難であるため、最近の高温、高圧、大形タービンロータ材にはすべて空冷による Normalizing Temper を行なっている。

この場合 S 曲線において Ar_1 変態の Nose が短時間側にあると空冷により粗大なフェライトが出るので、 Ar_1 変態点の Nose が長時間値にあることが、焼入性の良いことは自明である。また、その熱



第13図 Cr-Mo-V 鋼の衝撃値と焼入温度

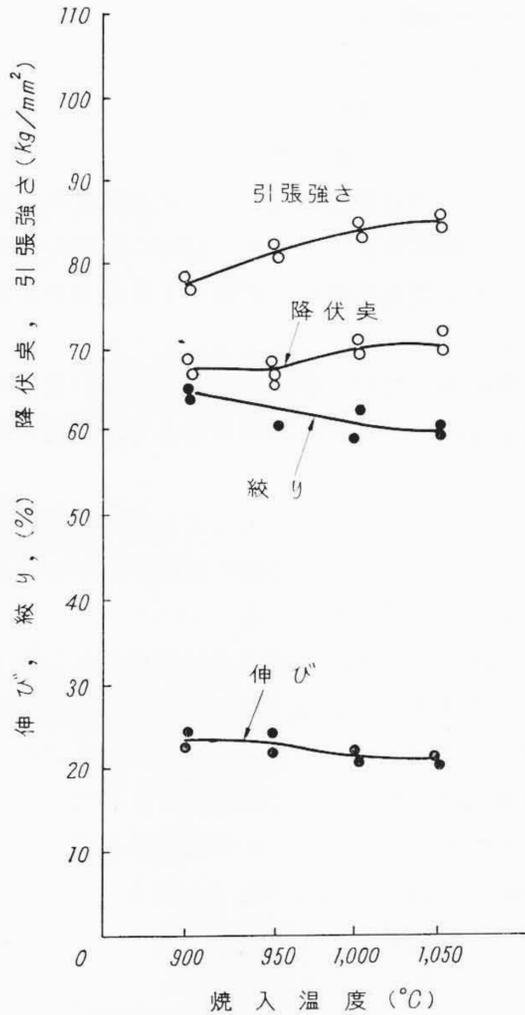


第14図 Cr-Mo-V 鋼の破面遷移温度と焼入温度

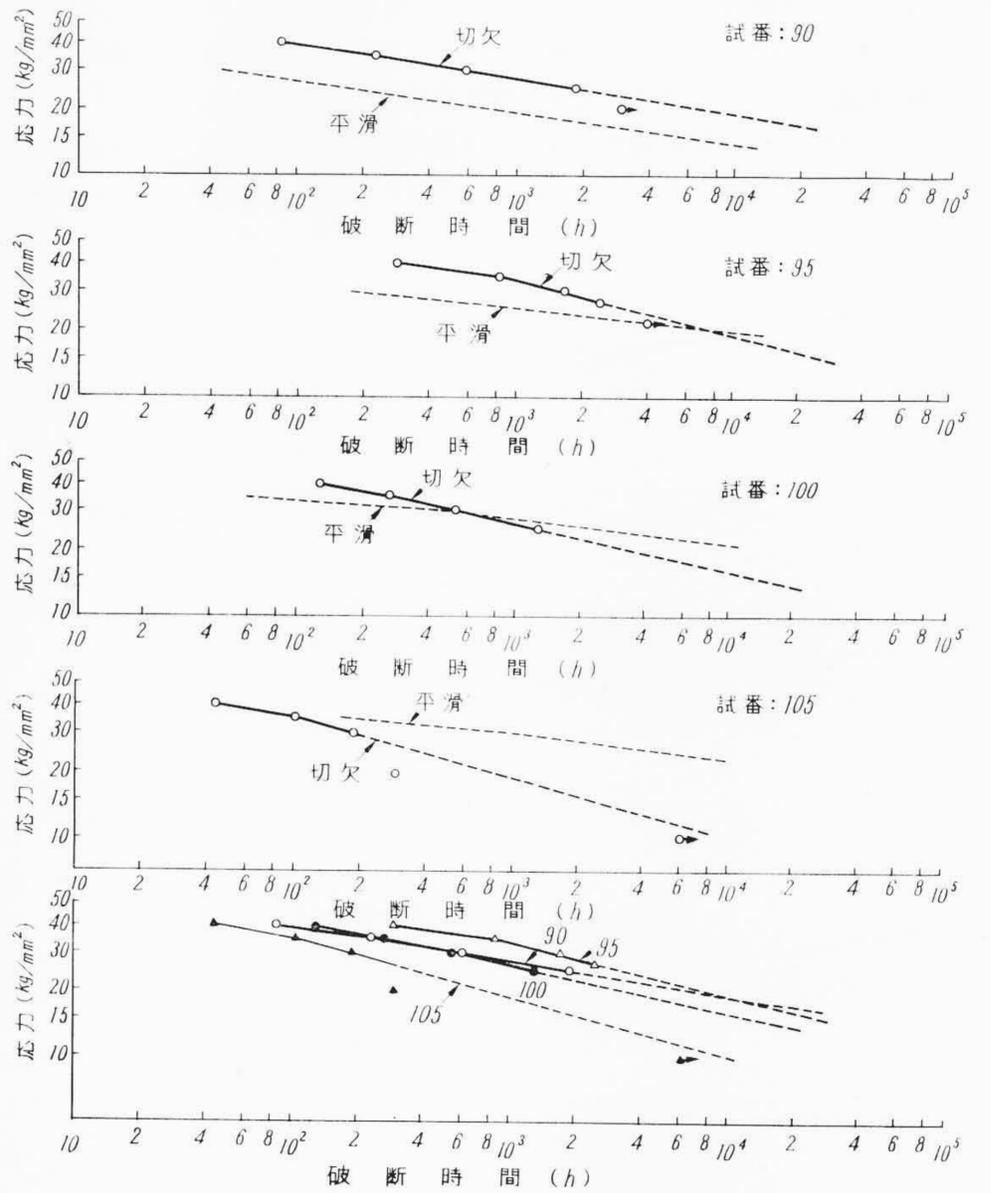
処理温度によっても高温強度、すなわちクリープ破断強度が異なってくるが、日立製作所においては、ロータ材に関し焼入温度および焼戻温度の影響を種々調査した結果、切欠感度についても長時間の破断強度について、その最も優秀な性状を示す温度をもって処理している。

ここで、ロータ材の焼入および焼戻温度の決定にあたっての各種特性検討を、Cr-Mo-V 鋼について述べてみよう。

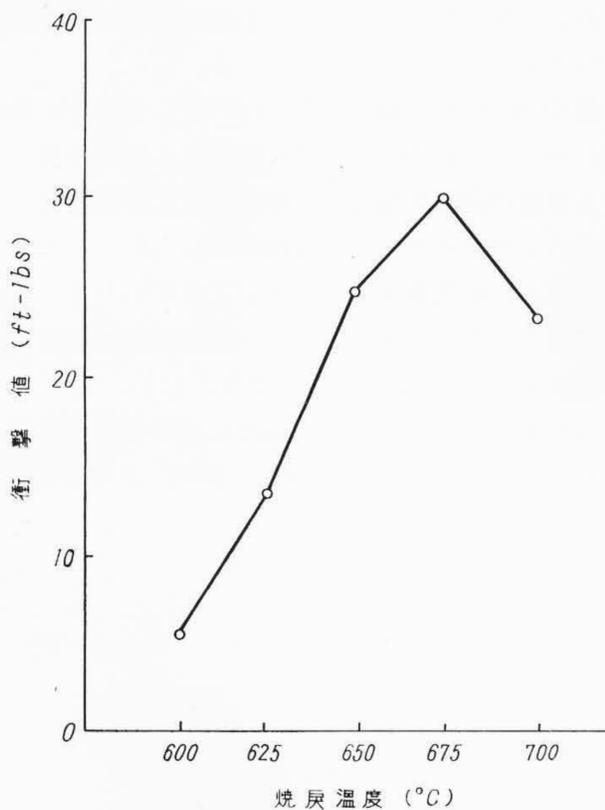
第13図は室温の衝撃値と焼入温度の関係を示したものであり、焼入温度が高くなるにつれて低下する。第14図は破面遷移温度に及ぼす焼入温度の影響を示したものであり、焼入温度の上昇とともに高くなる傾向を示す。第15図は引張試験特性に及ぼす焼入温度の影響を調べたものである。これにより、焼入温度の上昇とともに引張強さ、降伏点が若干高くなり伸び、絞り逆は逆に低くなることがわかる。第16図はクリープ強さに対する影響である。平滑クリープ破断強度においては、焼入温度の低下とともにクリープ破断強さが低くなり、特に焼入温度 900°C における低下が著しい。逆に、ク



第15図 Cr-Mo-V鋼の引張試験特性と焼入温度



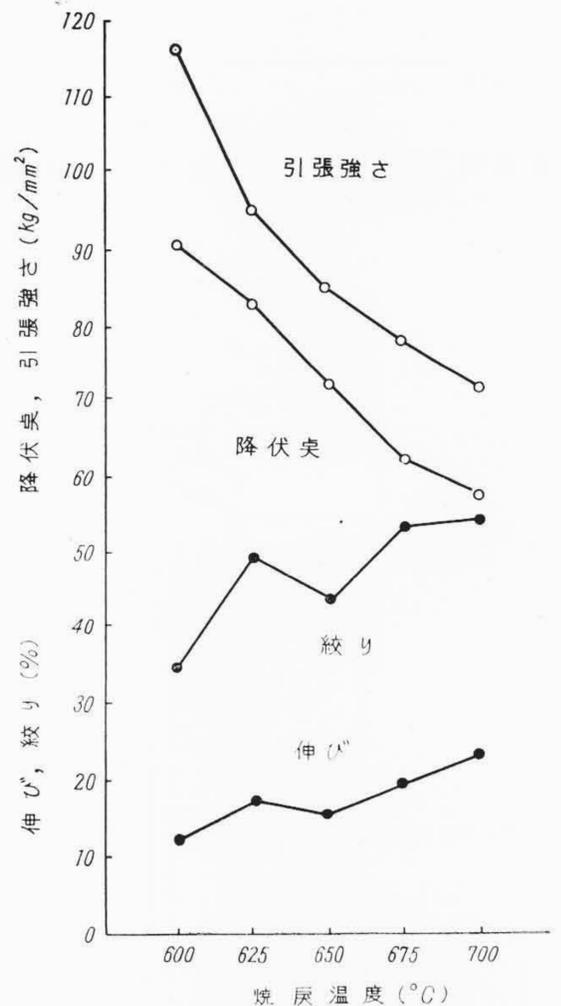
第16図 Cr-Mo-V鋼の切欠クリープ破断強度 (550°C) に及ぼす焼入温度の影響



第17図 Cr-Mo-V鋼の衝撃値と焼入温度

リーブ破断伸びは焼入温度の低いほどすぐれている。切欠クリープ破断試験結果においては、長時間において焼入温度が高くなるにつれて低下する。

すなわち、Cr-Mo-V鋼の焼入温度をあまり高くすると、引張強さ、平滑クリープ破断強度は高くなるが、衝撃値、平滑クリープ破断伸び、切欠クリープ破断強さが低下するので、あまり高くとりえない。また、焼入温度が低すぎても平滑クリープ強度が低くなる。



第18図 Cr-Mo-V鋼の引張試験特性と焼入温度

第17図は衝撃値と焼入温度の関係を示したものであり、焼入温度の上昇とともに大きな値を示し、675°Cにおいて最大値を示

す。第18図は引張試験特性に及ぼす焼戻温度の影響を示す。焼戻温度の上昇に伴い引張強さと降伏点は減少するが、伸び、絞りは増大する。第19図はクリープ強さに対する焼戻温度の影響を示したものである。平滑クリープ破断強度においては長時間における推定強度はほぼ同じ値を示すが、その中間点においては、焼戻温度の低

い方がクリープ破断強度は高い。切欠クリープ破断強度においては長時間側において焼戻温度の低い方がクリープ破断強度は低い。すなわち、組織変化は焼戻温度が低いほど大きく、また、平滑材よりも切欠材の方が大きい。

ロータはその構造上、平滑部、切欠部のいずれをも有しているのでその双方の強度比がひとしく、かつ強度値の高い焼戻温度がよいことになる。以上における検討によれば660°C付近で焼戻すと良いクリープ破断特性が得られる。

このように、一つの部材の焼入れ、焼戻温度の決定についても、ロータ材にかぎらず、その部材に必要な各種特性に対する焼入および焼戻温度の影響を十分調査の上決定する必要がある。

日立製作所においては、各標準使用材についてこのような各種研究を行ない、綿密な検討のもとで、部材の熱処理温度の決定を行なっている。

高圧タービンロータは、遠心力による応力を受けると同時に高温にさらされるので、高温における曲りに対して絶対に安定であることが必要となる。

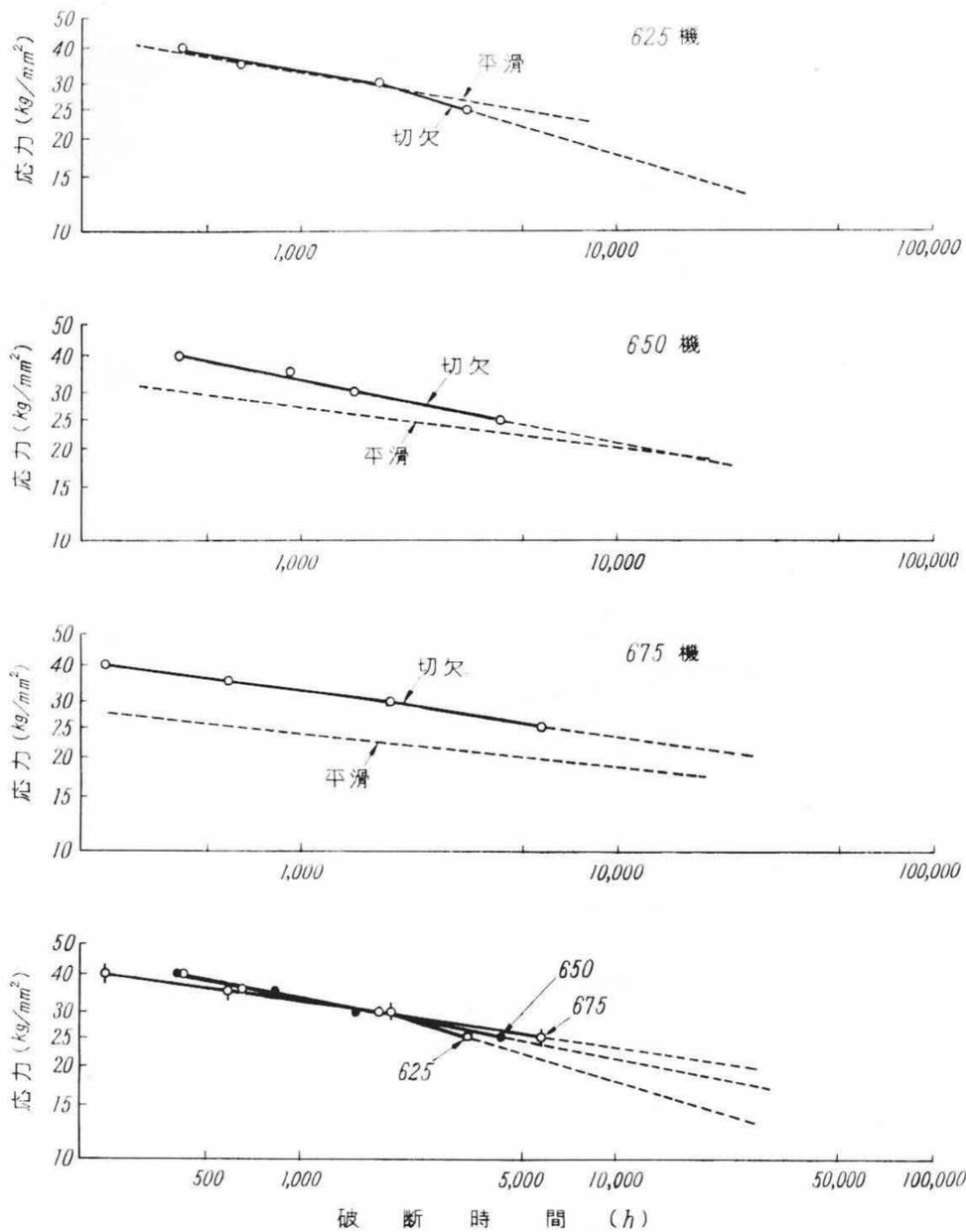
このためには、ロータの各部応力が過大とならぬよう設計時に十分留意することが必要である。構造的には、第20図に示すようなくら形ダブティルは、最大応力のかかる部分が直接蒸気にふれないので構造的に有利である。

日立製作所においては、ロータの鍛造時と機械加工後にHeat Indication Testを施行することにより、高温におけるロータの安定性を調査して使用しており、今までにこの点でトラブルを引き起こしたことはない。

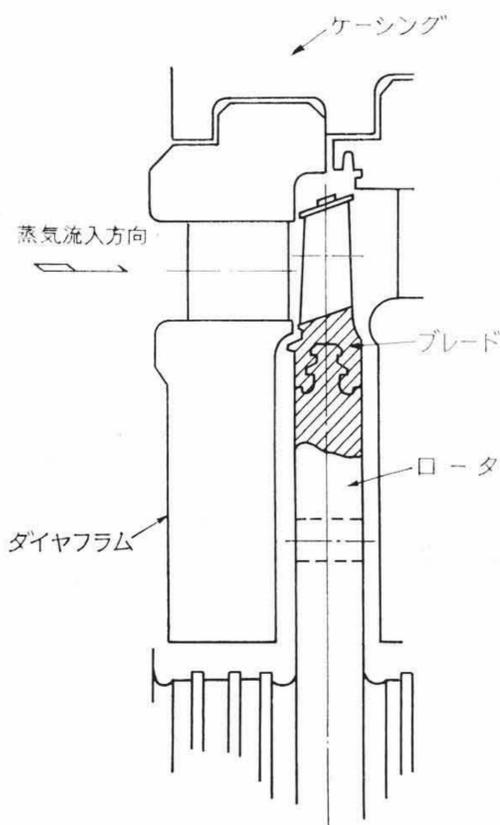
また、低圧ロータにおいては最終段に長翼を使用するためロータに発生する応力は高くなり、その回転破壊強さに対して十分なる考慮を払う必要があるが、この点に関しては最近の種々な研究により、靱性の高い材料が回転破壊強さの大きいことが立証されている。

第21図および第22図はGE社C. J. Boyle氏ほかが発表したロータ材の回転破壊装置による内周に鋭い切欠を有する車盤の回転破壊強さと衝撃値および遷移温度との関係を表わしたものであり、靱性の高い（あるいは、遷移温度の低い）材料ほど回転破壊強さの大きいことがわかる。なおここで述べた遷移温度とはVノッチシャルピー衝撃試験において脆性破断面と靱性破断面の比が50%となる温度のことをいう。

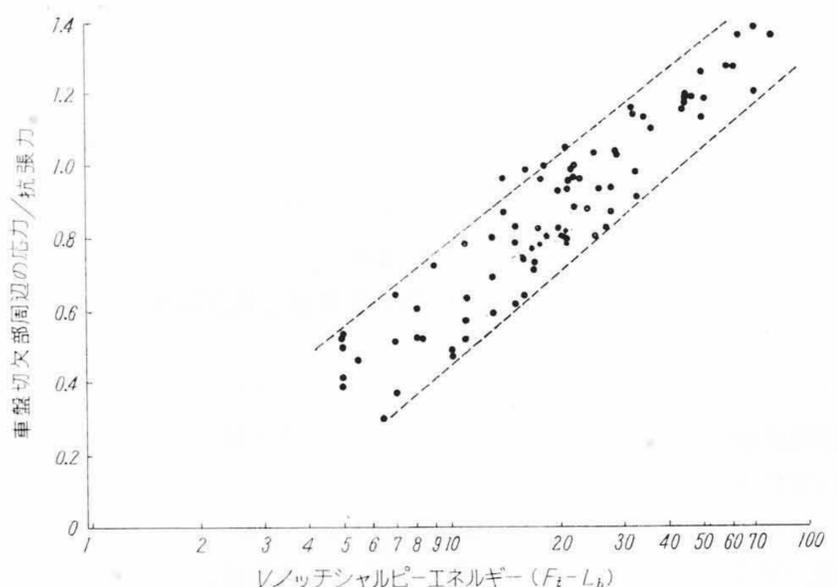
第3表は日立製作所のロータ材の温度に対する使用標準を示している。すなわち315°C以下は炭素鋼を、469°CまではNi-Mo-V鋼



第19図 Cr-Mo-V鋼の切欠クリープ破断強度(550°C)に及ぼす焼戻温度の影響



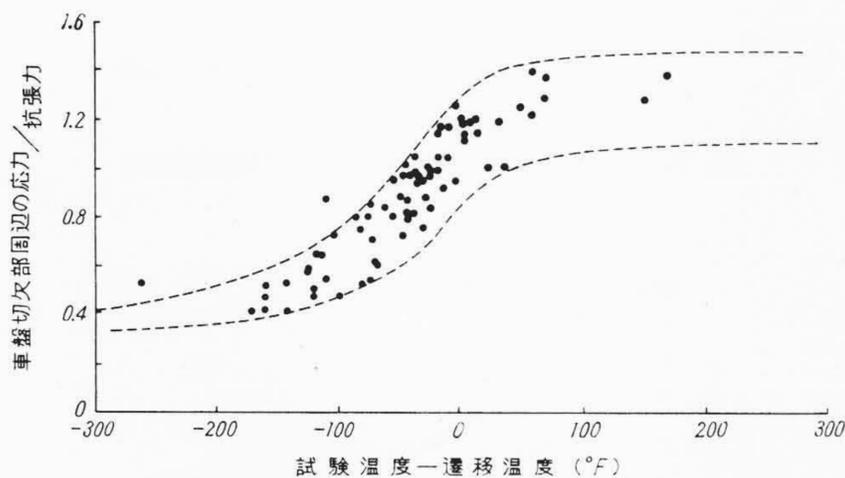
第20図 翼植込嵌合部の形状



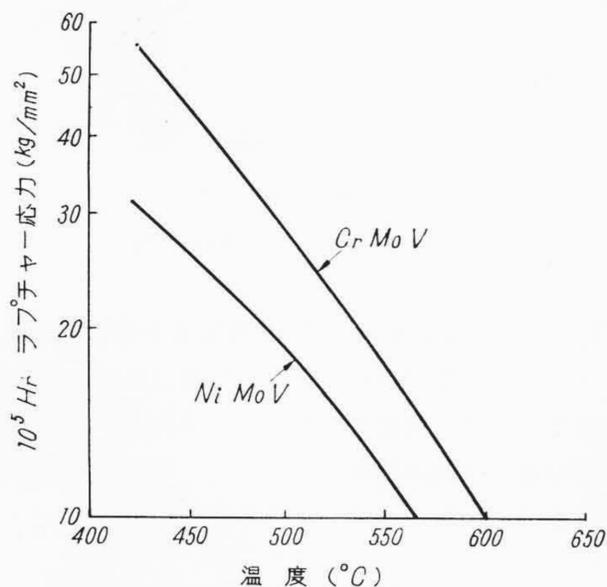
第21図 内周に切欠を有する車盤の回転破壊強さと衝撃値との関係

第3表 ローター材料の温度による使用区分

温度 (°C)	ロータ材料
315 以下	炭素鋼
316~469	Ni-Mo-V 鋼または Ni-Cr-Mo-V 鋼
470 以上	Cr-Mo-V 鋼



第22図 内周に切欠を有する車盤の回転破壊強さと遷移温度との関係



第23図 Ni-Mo-V 鋼および Cr-Mo-V 鋼の 100,000 時間ラプチャー応力

または Ni-Cr-Mo-V 鋼を使用し、470°C 以上になると Cr-Mo-V 鋼を使用する。

Cr-Mo-V 鋼は Ni-Mo-V 鋼に比べて、高温強度が著しく良好であり、Ar₁ 変態開始点は高温長時間側にあるため焼入性は良好である。

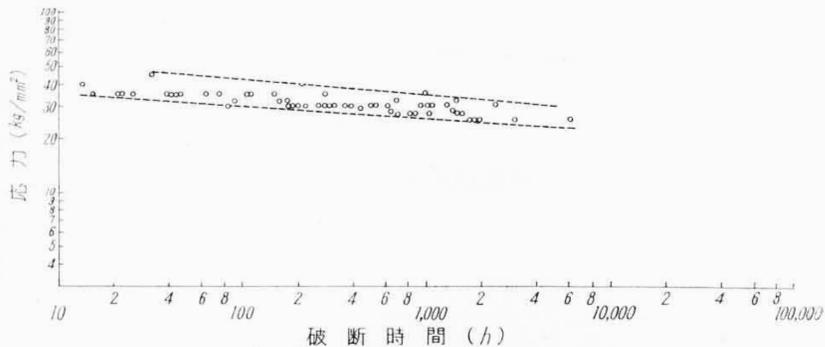
しかし Cr の含有量が高いのでスラグなどが出やすいが、これに対しては真空鋳造法を使用しているため問題はなく、また変態点が高いため高温均一加熱を要するので特殊加熱炉を用いており、焼入速度の調節に対しては回転冷却設備によっている。

第12図は Ni-Mo-V 鋼および Cr-Mo-V 鋼の 100,000 時間強度を示したものであり、Cr-Mo-V 鋼が高温強度にすぐれていることがわかる。

日立製作所においては、ロータ材のクリープ強度は実際の製品についてそれぞれチェックを行っており、その高温強度については特に注意を払っている。その結果を Cr-Mo-V 鋼 550°C におけるクリープ破断強度に例をとると第13図に示すとおりである。クリープ破断強度は材料のバラツキが非常に大きく、第24図を例にとると 30 kg/mm² の応力のもとでの寿命は最低 100 時間に対して最大 4,000 時間と実に数十倍もの開きがある。この寿命における材料のバラツキは特に注意する必要がある、高温部材のクリープ強度を論ずる場合に忘れてはならない点である。

第4表 ノズル翼材料の温度による使用区分

温度 (°C)	ノズル翼材料
399 以下	13Cr 鋼
400~479	13Cr 鋼または 15Cr-Mo 鋼
480~509	15Cr-Mo 鋼
510~538	15Cr-Mo 鋼または Cr-Co 鋼
539 以上	Cr-Co 鋼, Cr-Mo-Co-V 鋼またはオーステナイト鋼



第24図 Cr-Mo-V 鋼 550°C のクリープ破断強度

日立製作所においては、ロータ材にかぎらず、高温部材のクリープ破断強度のバラツキを知るため、十数チャージにおよぶ数多くの試験を行ない、これらの試験結果を統計学的に処理している。すなわち、確率紙上における試験値を破断の確率 $p \rightarrow 0$ あるいは $P \rightarrow 100\%$ の極限值にむかって外そうしばらつきの範囲を知るのである。

当該鋼種の許容応力を決定する場合には、単に平均値のみで論議するのではなくて、このようにして試験結果の期待されるちらばりの範囲を考慮に入れて決定するのである。

5. ノズル翼

ノズル翼は静止体であるため後述するタービン翼のように、遠心力による応力は受けない。ただし第1段に関しては低温にさらされるし、また、最近のように高温、高圧、大容量のタービンにおいてはその大きな圧力差により、かなり高い曲げ応力を受けるので高温強度の優秀な材料を使用する必要がある。

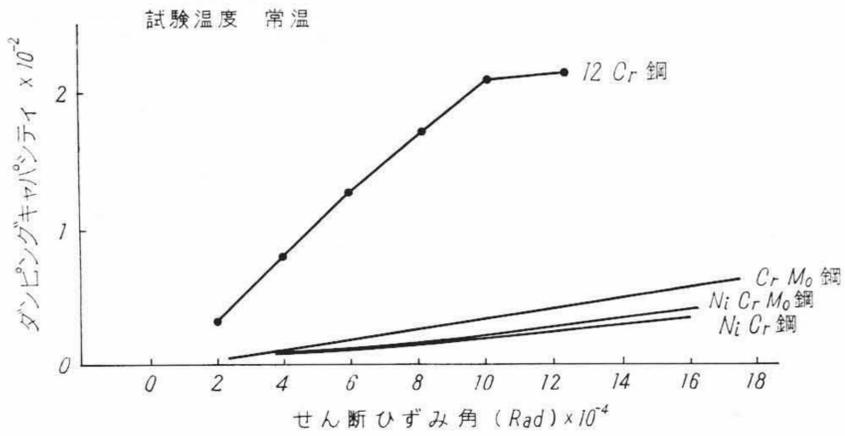
ノズル翼は一般にダイヤフラム本体に溶接されるのでその溶接性が良好であることが必要である。このためには C 含有量はせいぜい 0.1% 以下としなければならないが一方黒鉛化に対する耐久性を増加させる必要がある、また、ノズル翼端部における Edge Vibration なども考慮に入れるとかなり高い Cr 量を有する材料を用いることになる。このためノズル翼材は他の部材に比べて一般に焼入性は悪く、降伏点はかなり低いものとなるが、この点に関してはノズル翼はその構造上1段のダイヤフラムに多数植込まれているので、1個のノズル翼のみ過大な応力がかからぬようにすることの方が有利な点より考えてなら問題は無い。それゆえ日立製作所においては、ノズル翼材として化学的組成ベースの材料を使用し機械的性質は硬度のみをその規定値として指定している。

第4表は日立製作所のノズル翼材の温度に対する使用基準を示している。

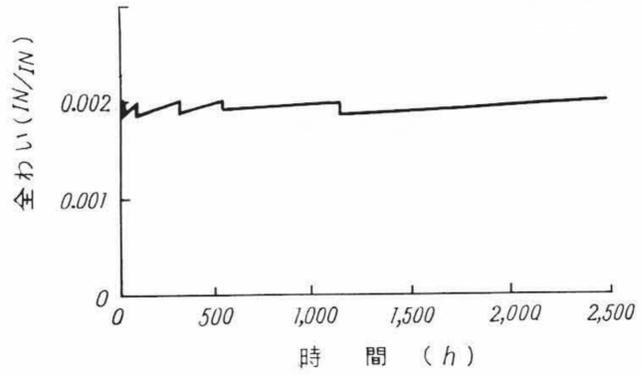
6. タービン翼

タービン翼材としては、通常 12Cr 鋼が用いられるが、高温、高応力になると 12Cr-Mo-W-V 鋼が用いられる。タービン翼材に 12Cr 鋼が用いられるのは高温特性が優秀であるとともに、ダンピングキャパシティの大きいこともその大きな理由の一つである。

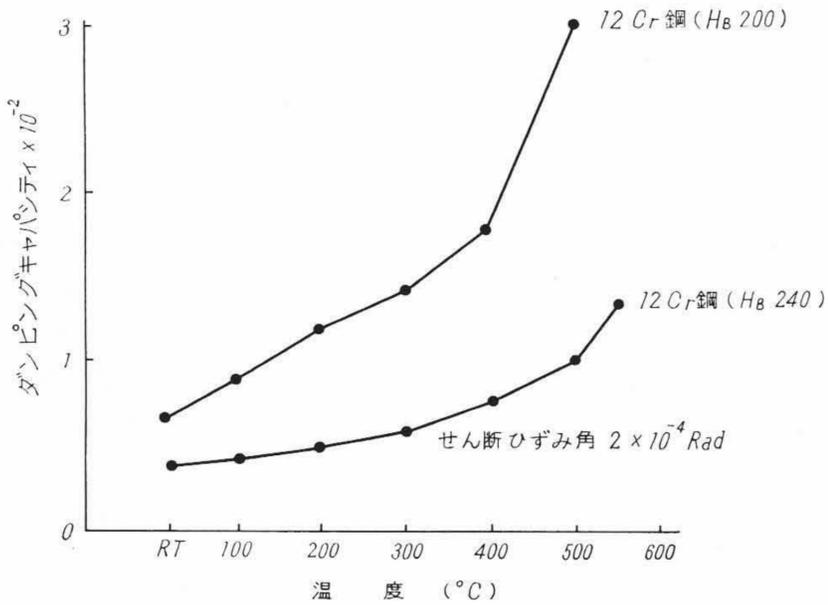
第25図は他鋼種と 12Cr 鋼のダンピングキャパシティを比較して表わしたものであり、12Cr 鋼のダンピングキャパシティが大きいことがわかる。このダンピングキャパシティの大きいということは、タービン翼材としてはぜひ必要な特性である。なぜならば共振



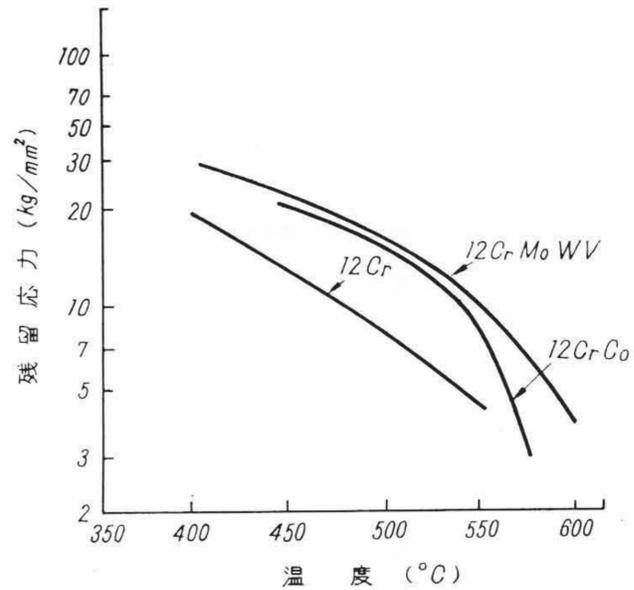
第 25 図 各鋼種のダンピングキャパシテイ



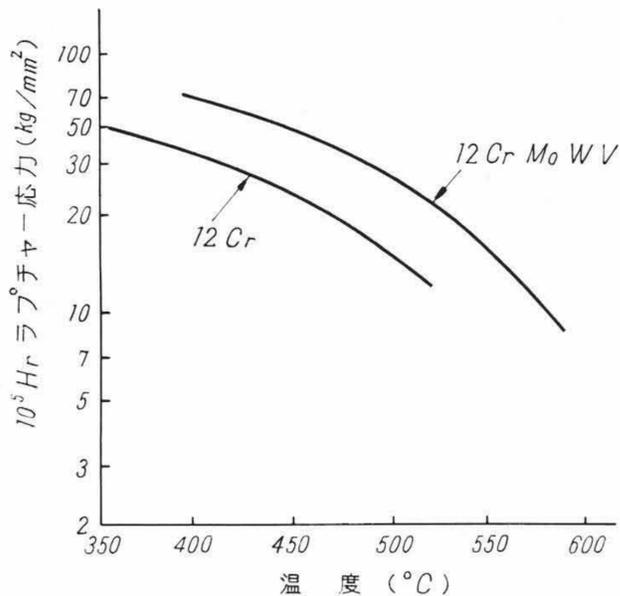
第 28 図 リラキゼーションクリープ試験説明図



第 26 図 ダンピングキャパシテイに及ぼす硬度の影響



第 29 図 12Cr 材の残留応力



第 27 図 12Cr および 12Cr-Mo-W-V 鋼の 100,000 時間ラプチャー応力

時の翼の最大振動応力は対数減衰率で表わした翼のダンピングキャパシテイに逆比例するからである。

第 26 図 は硬度の違いによるダンピングキャパシテイの相違を比較したものである。図でわかるように 12Cr 鋼においては硬度の低い方がダンピングキャパシテイは大きい。一方 12Cr 鋼においては一般に硬度の高い材料の方が疲労限は高いので疲労限よりみた場合には、硬度の高い方がよいことになる。したがって 12Cr 鋼といえどもその組成範囲、熱処理などは上記二つの相反する条件をどちらもその使用にさしつかえないように適切に定める必要がある。

タービン翼のように高温で高応力を受ける部材はクリープ破断応力を基準にして設計するのが最も適切である。第 27 図は 12Cr および 12Cr-Mo-W-V 鋼の高温における 10⁵ 時間クリープ破断試験の結果を示したものである。第 27 図でわかるように 12Cr-Mo-W-

V 鋼は 538°C でなお 20kg/mm² 以上の高強度を有している。

タービン入口蒸気温度が 566°C となった場合には、第 1 段および再熱後の 2 段ないし 3 段程度までが 12Cr-Mo-W-V 鋼となるが、これらの材料の選定は個々の場合について、それぞれ翼の応力と材料の破壊程度をにらみあわせて決定する必要がある。

7. 締付ボルト

タービンケーシングおよび主弁類などの締付ボルトは、毎年の解放検査のたびに締めなおす必要がある。締付ボルトは使用中高温にさらされるのでその材料の選定に際しては、折損に対し安全性を有し、その使用期間中にクリープ伸びを生じ締付力の不足を生じない材料を選ばなければならない。折損に対する検討としては部材の切欠クリープ破断強度を検討すべきであるし、蒸気もれに対しては、弾性および塑性の全体の伸びを一定にして行なう Relaxation-Creep 試験により得られる残留応力によって決定するのが良い。

この試験は第 28 図に示したように全体の伸びを一定に押えて Load を次第に減少して行く方法で測定される。この方法には Step-down 法と呼ばれる方法と、自動式の方法があるが、日立製作所においてはその双方とも使用している。これによって得られた伸び 0.2% で 10,000 時間の残留応力を基準にしてボルトの設計が行なわれる。(実際には、年間の稼働率も考慮に入れて設計することもある。)

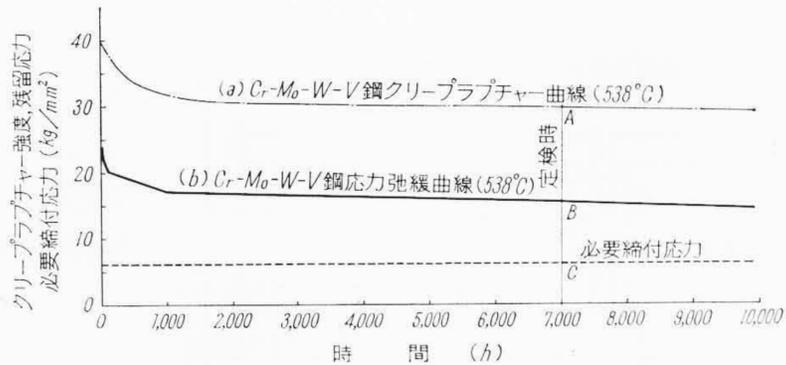
第 29 図は高温における 12Cr-Mo-W-V 鋼などの 10,000 時間の残留応力を示したものであり、12Cr-Mo-W-V 鋼が高温においてすぐれた値を示している。

第 5 表は日立製作所におけるボルト材の使用基準を示したものである。

なおボルト材に関しては、その折損事故を未然に防ぐため点検時に硬度チェックを行ったり、解放検査の際抜き取ったボルトに対しては磁粉探傷検査を行なうなど、その保守には万全の対策を立て

第5表 ボルト材料の温度による使用区分

温度 (°C)	ボルト材料
315 以下	炭素鋼
316~510	Cr-Mo-V 鋼
510 以上	12Cr-Mo-W-V 鋼



第30図 Cr-Mo-V 鋼特性説明図

ている。また締付力に対しても細心の注意を払って作業を行なっている。

ボルトの設計に対して必要な材料特性と設計時の検討をくわしく示したのが第30図である。曲線(a)はクリープ破断強度を、曲線(b)は応力弛緩を、また点線は設計的に必要なボルトの締付応力を示す。すでに述べたように、ボルトはその使用期間中に折損せずしかも蒸気もれが生じないように設計する必要があるが、第30図上でこのことを説明するとたとえば、点検までの使用時間を7,000時間(年間稼働率80%)とすると常に点A>B>Cの関係が成立する必要があることを示す。また、この検討においては、初期締付応力と応力弛緩の関係、締付を繰り返した場合のクリープ破断強度の変化および応力弛緩特性の変化などを綿密に調査、検討する必要がある。

さらに、過去において日立製作所が使用したことのあるCr-Co-W-V鋼は、最近の使用実績により高温で使用した場合経年変化を起し、多少脆化の進行がみられたが、これは脆化の進行のみられたものを早期に摘出し再熱処理を行なえば、材力は再び使用前と同等となり再度の使用に耐えることが判明している。

これなどは、経年変化を起す部材が常に監視を必要とする好例であり、設計者が常にその材料の必要とする特性と使用中における材料特性の変化をみきわめ、たとえ設計後といえども、常にその部材の必要とすべき特性の変化を適正にみきわめる必要のあることを示しているといえよう。

8. 耐熱鋼の研究

発電所の経済性に決定的な影響を及ぼすのは蒸気温度であり、これを高くするほど熱効率は上昇し、発電原価が安くなる。前項まで

に述べてきたように566°Cまでの主蒸気温度に対しては、綿密な設計を行なうとともに溶接、熱処理を行なうことにより高価なオーステナイト系材料を使用しなくとも、フェライト系の材料で十分製造できるが、566°Cをこえるとタービン耐熱材料に多量のオーステナイト系耐熱鋼を使用せざるを得ないのが今日の蒸気動力界の状態である。

オーステナイト系鋼の高価なのに比し、フェライト系鋼は廉価であり十分採算性があるため、将来新しい低価格のフェライト系耐熱鋼が開発されて566°C以上の温度に対しても十分な強度を有するようになれば、火力発電界も次の段階に進み大発展をとげることができる。この意味において日立金属株式会社安来工場が開発されずでに小形部品に使用されているTAF鋼などはそのトップに行くものといえる。この566°Cの壁を破り次の段階に進むためには、ぜひとも低価格の耐熱鋼を開発する必要がある。

また、一方たとえば高温、高圧下で溶解凝固させ微細かつ安定な結合を有するものや、転位などの存在しない金属ができ、それが十分採算のとれる価格のものであれば、その強度はさらに向上し蒸気動力界も飛躍の大発展をとげうるものと考えられる。

この点に関しては材料メーカーと設計者および研究者との間で綿密な連絡をとり、強力に研究開発を進めることが必要である。

9. 結 言

以上で主としてタービンの主要部材料に関し、高温における諸性質について述べかつ日立製作所における566°Cまでの標準使用材について設計面よりみた材料の使用例を述べた。また、材料面よりみた場合、大幅な原価低減を計り、より高い効率と信頼性をうるためには566°C以上の温度に耐えるフェライト系鋼の開発、研究が必要であり、この点の問題追求のため設計者を含めた関係者が势力的に研究推進の体制をとる必要のあることを照会した。

終わりに臨み日立研究所より貴重なデータの供与を受けたので、関係各位に深甚な謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) 横田：日立評論 38, 65 (昭31-12)
- (2) Design and Fabrication of Steam, Piping by A. W. Rankin, The Welding Journal, June (1951)
- (3) High Temperature Properties and Characteristic's of a Ferritic Steam Piping Steel, by A. W. Rankin, Trans. ASME (1951)
- (4) Significant Progress in The Development of Large Steam Turbine and Generator, Rotors, by C. J. Boyle 他, ASME Paper (1962)



特許第286679号

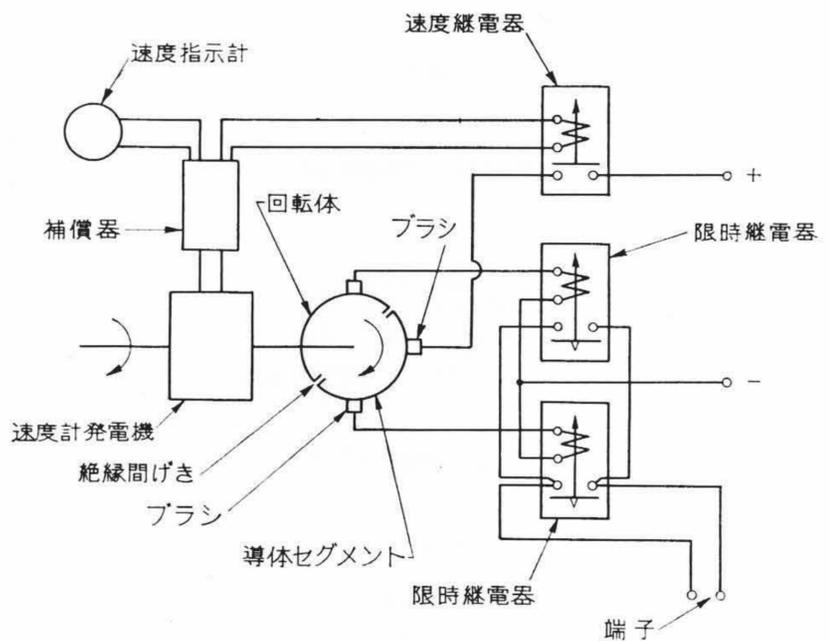
中丸良郎・滝上 巖

車両用停車検出装置

一般に鉄道車両においては、停車により行なわれるべき操作を運転者または車掌が手動で行なっているが、この操作を自動化した車両の自動制御を行なうためには車両の停車をなんらかの方法で検出することが不可欠となる。この発明はこの点にかんがみてなされたもので、速度計装置に速度継電器および絶縁間げきをおいて導体セグメントを取り付けた回転体を組み合わせ、被制御回路に接続する2個の限時継電器の切り換えを導体セグメントとブラシにより行なうようにしたことを特長とする。

速度継電器は速度計発電機の出力がほとんど零になったとき接点を閉じ、出力が発生すれば開くようにされている。速度が低下して速度計発電機の出力が速度継電器を動作状態に保ち得ない程度に低下すると、速度継電器の接点が閉じて+端子よりブラシに電流が流れる。さらに速度が低下して図示のように導体セグメントが2個のブラシを接続した範囲内で停止した場合は、絶縁間げきがブラシを通過した瞬間から一定時間を経ると、いずれか一方の限時継電器の接点が閉じて下方の端子を経て被制御回路が閉路される。絶縁間げきがブラシの位置で停止した場合は、2個の限時継電器が同時に動作して上記の場合と同様に被制御回路を閉路する。

したがって停車の検出および停車時に行なわれるドアの開き、ステップの送り出し、台車空気ばねの調整などを自動的に行なうことができる。



特許第294875号

内海昭夫

掃除機用掻取装置

この発明は主として道路用掃除車に使用されるもので、吸引口の先端部に地面に接する掻取装置を回動可能に設けて、地面に付着した異物および吸引しがたい異物などを掻取り除去するとともに、地面の凹凸あるいは地面に固定された障害物などがある場合には上方に回動して吸引口の損傷を防止するようにしたものである。

掻取羽根2および隔壁3は一体となって吸引ダクトに通ずる吸引口1の先端部を形成し、腕4、ピン5、リンク6、ピン7、腕8を介して本体に支持され、ピン5を中心として反時計方向に、ピン7を中心として時計方向にそれぞれ回動可能である。

この装置が定常位置で前進する場合、腕4、リンク6はバネ11、12によりそれぞれストッパー9、10に押し付けられ、掻取羽根2は地面に接触しているため、異物は掻取羽根2により掻取られ吸引口1を経て所定の位置に搬送される。

前進時、掻取羽根2が地面に固定された障害物に当たった場合、掻取羽根2、隔壁3は腕4を介しバネ11の押付力に抗してピン5を中心として反時計方向に回動し、障害物上を通過するとバネ11の反撓力により定常位置に復す。

後進時、掻取羽根2が障害物に当たった場合、掻取羽根2、隔壁3は腕4、ピン5、リンク6を介しバネ12の押付力に抗してピン7を中心として時計方向に回動し、障害物上を通過するとばね12の反撓力により定常位置に復す。

