

Die Ventile der Kraftfahrzeugmotoren

von

Tokushige Iwata in Fa. Mitsubishi Jukogyo K.K.

Genehmigung ohne Genehmigung
nicht gestattet
Exemplare nur durch
den Übersetzer

Kraut
Bronn
Gäble 16

1. Vorwort

Hand in Hand mit dem langsamen aber sicheren Ansteigen der Drehzahlen und der Leistungen der Kraftfahrzeugmotoren werden auch die im Betrieb an die Ventile gestellten Anforderungen immer schwerer, und bei den strengsten Bedingungen hinsichtlich des Preises wird eine Erhöhung der Lebensdauer gefordert. In den nachstehenden Ausführungen soll über die bei der Herstellung der Ventile zu ergreifenden Maßnahmen zur Verhinderung der an den Ventilen auftretenden Schäden unter besonderer Berücksichtigung des Materiales gesprochen werden. Hierbei sollen als Bezeichnungen für die einzelnen Teile des Ventils die in den japanischen Kraftfahrzeugnormen festgelegten Ausdrücke angewandt werden, wie sie in der Abb. 1 zusammengestellt sind.

2. Die Ventilbetriebsstörungen

Da die Ventile unter hohen Beanspruchungen in einer Oxydations-Korrosionsatmosphäre von hoher Temperatur arbeiten, so stellen die verschiedenen, ihre Lebensdauer beeinflussenden Störungen, ein wichtiges und schwieriges Problem dar. Die Temperatur, bei welcher ein Ventil arbeiten muss, liegt gewöhnlich auf der Ansaugseite bei 200-450°C (max. 700°C), und auf der Auspuffseite bei 600-800°C (max. 850°C und mehr); bei den Auspuffventilen gibt es deshalb viele Störungen, die mit der Hitzebeständigkeit zusammenhängen (Abb.2).

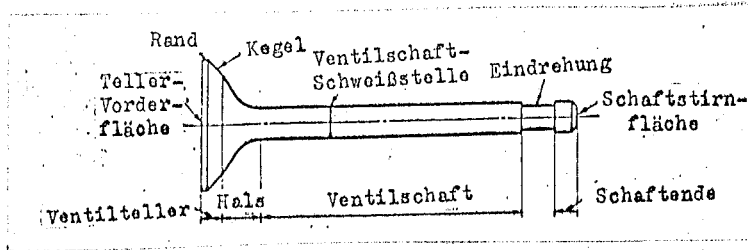


Abb. 1 Die Bezeichnung der einzelnen Teile des Ventiles

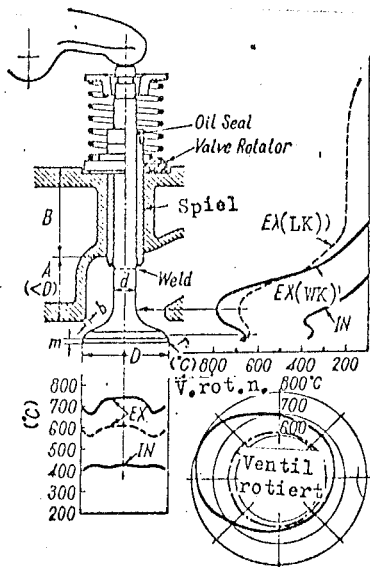


Abb. 2 Ein Beispiel der Verteilung der Betriebstemperatur bei einem Ventil

No.	Art der Störung	Einzelheiten	Ort des Auftretens
1	punktf.Korr.d.Kegels		IN·EX
2	Durchblasen	Lecken, Korrosion	EX
3	Ventilkegelabrieb	Reibflächen- u.Korr.Verschleiß	IN·EX
4	Teller u. Halsdeform.	Aushöhlung an Rand u. Teller	EX
5	Teller-Wärmeermüdung	Brandrisse am Kegel, Tellerbeschd.	IN·EX
6	Ventilhalsreckung		EX
7	Ventilhalsbruch		(IN)·EX
8	Bruch an Schweißstelle		EX
9	Bruch an Eindrechung		IN·EX
10	Schaftstirnflächenabrieb	Verschl.d.Festbackeh, Grübchenbildung	IN·EX
11	Schaftabriebverschleiß		IN·EX

Tafel 1

Die verschiedenen Arten der Störungen beim Betrieb der Ventile

In der Tafel 1 sind die bekanntesten Formen der Störungen zusammengestellt. Unter diesen sind es die Störungen durch Bruch, welche während der Zeit der versuchsweisen Herstellung eines Motors im Wesentlichen behoben werden.

2.1 Der Ventilhalsbruch

(1) Während der Zeit der versuchsweisen Herstellung wird unter den härtesten Bedingungen die Betriebstemperatur des Ventils gemessen, es werden Änderungen am Ventilbetätigungsmechanismus, Änderungen an den Abmessungen des Ventils erwogen und es wird die Anwendung von Werkstoffen mit hoher Festigkeit bei hohen Temperaturen (insbesondere mit hoher Dauerfestigkeit) in Betracht gezogen. Im Falle eines frühzeitigen Bruches ist eine Verbesserung des Ventilbetätigungsmechanismus unerlässlich. Wenn auch an der Eindrechung des Ventilschaftes ein Bruch auftritt, dann kommt eine Änderung der Konstruktion hinzu, die sich in erster Linie auf eine Verstärkung der Ventilsfeder bezieht; es muss auch untersucht werden, ob der Ventilschaft der Führung gegenüber das richtige Spiel hat, ob die Schmierung in Ordnung ist, und es müssen Maßnahmen zur Verhütung des Festbackens des Ventilschaftes erwogen werden.

(2) Dass man für die Ventile einen Werkstoff braucht, der bei hohen Temperaturen eine hohe Festigkeit besitzt, hat seinen Grund vor allem darin, dass dieses Material ausser den häufig auftretenden Ermüdungsbrüchen am Ventilhals auch erheblichen Dehnungsbeanspruchungen und Verbiegungen des Ventiltellers standhalten muss.

Es müssen die verschiedenen Formen der Ermüdung berücksichtigt werden, die von der Deformation der Ventilsitzseite und vom Abriebverschleiss der Ventilsführung herührenden Schwingungen des Ventilhalses, die zusätzlichen Biegemomente und

damit Biegeermüdungsbeanspruchungen, die von einem nicht genau gleichzeitigen Aufsitzen des Ventilkegels herrühren (Abb.3). Der Grad der Beschleunigung beim Aufsetzen des Ventilkegels auf den Ventilsitz ist verschieden je nach der Konstruktion und je nach dem Betriebszustand; diese Beschleunigung kann ein Vielfaches der max. Nockenbeschleunigung erreichen; man gibt sich daher bei der Konstruktion alle Mühe, das Aufprallen auf das geringste Maß zu beschränken [LH1]. Bei den Ventilen der üblichen Bauform müsste die max. Beschleunigung für einen Werkstoff mit hoher Festigkeit bei hohen Temperaturen auf höchstens 200 g beschränkt werden.

Diese Biegeermüdungsbrüche sind, wenn es sich um Verbiegungen handelt, die von der Dehnung des Ventilhalses und von der Dünnwandigkeit des Ventiltellers herrühren, erfahrungsgemäss darauf zurückzuführen, dass die Ventilsitzseite beim Aufsitzen des Ventilkegels heftig auf die ganze Fläche auftrifft (?) und dass die Federbelastung verhältnismässig gross ist; man muss deshalb beim Material ganz besonders auf eine hohe Kriechfestigkeit achten (Abb.4, Tafel 2).

Als Gegenmaßnahme bei der Konstruktion ist es wünschenswert für die Materialfestigkeit die Dauerfestigkeit bis in die Nähe der Betriebstemperatur, die Kriechzerreißfestigkeit (oder 1% der Kriechfestigkeit) und möglichst die dynamische Kriechfestigkeit zu nehmen. Der Verfasser hat ein von ihm angenommenes Diagramm der dynamischen Kriechfestigkeit aufgezeichnet und experimentiell bei einer Dauerfestigkeit von mindestens 2000 Std. untersucht. Man müsste jedoch auch den Einfluss von Kerben auf die Ermüdungsfestigkeit bei

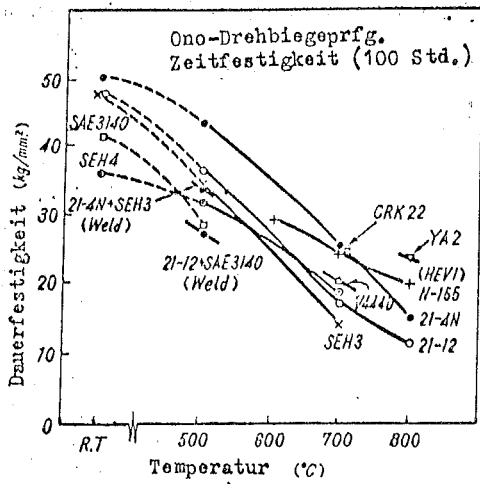


Abb.3 Die Hochtemperaturermüdungs-
festigkeit der Ventilstähle

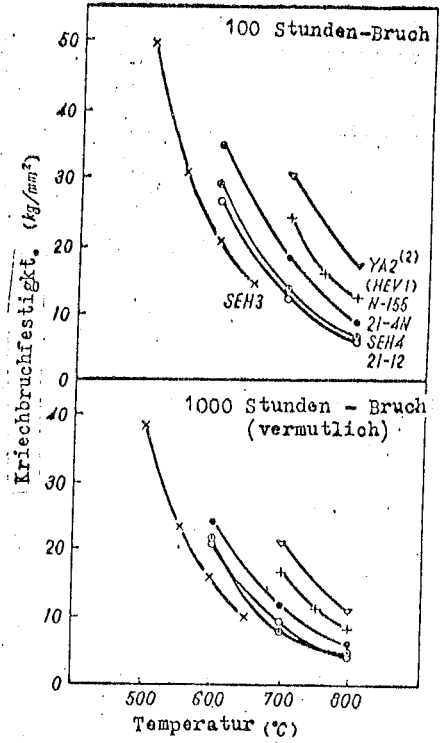


Abb.4 Die Hochtemperaturkriech-
bruchfestigkeit der Ventilstähle

Temperatur	Legierung	Spg(kg/mm²)	Zeit (h)
732°C	Silcrome 10	12.2	100
		7.7	1000
	21-12	11.2	100
		7.0	1000
	21-4N	11.2	100
		7.0	1000
N-155	11.2	1000	
	Inconel "X"	33.5	100
		26.5	1000
816°C	Silcrome 10	2.8	1325
	21-4N	2.8	1406
	21-12	2.8	934

Tafel 2

Die 1%-Kriechfestigkeit der Ventilliegierungen [LH4]

hohen Temperaturen [LH3] berücksichtigen.

Der Schlagwert stellt bei den heute angewandten Werkstoffen praktisch nahezu überhaupt kein Problem dar, was man auch schon aus der Tatsache schliessen kann, dass im Abschreckverfahren gehärtete Ventile und auch Gußstahlventile durchweg zur Zufriedenheit verwendet werden.

In der Praxis bringen die Versuche, welche die Messung des Betriebszustandes der Ventile beim Betrieb unter hoher Temperatur, sowie die Messung der an den Ventilen angreifenden Kräfte und der in den Ventilen vorhandenen Spannungen ^{betreffen,} wichtige Aufgaben für die Konstruktion und die Berechnung.

2.2 Der Bruch an der Ventilschafteindrehung

(1) Bei Innenhalterung der Klemmstücke ist der Bruch an der Stelle, wo das Material abgesetzt ist, typisch. Bei wechseln der Druckbeanspruchung und bei der Kombination wechselnder Biege- und Zugbeanspruchung bekommt man an dieser Stelle besonders hohe Spannungskonzentrationen; besonders häufig bekommt man Ermüdungsbruchflächen zu sehen, welche deutlich ein Vorherrschen der Biegebeanspruchung zeigen. Eine theoretische Erklärung dieser Brüche ist von Herrn Kinshi [LH5] veröffentlicht worden. Da sich jedoch der Praxis angeglichene Versuche nur sehr schwierig durchführen lassen, so hat man in der Abb.5 einfach die Ergebnisse der Dauerfestigkeitsprüfungen zusammengestellt.

Da es sich jedoch in den letzten Jahren herausgestellt hat, dass vom Gesichtspunkt der Festigkeit her gesehen konstruktiv eine Aussenhalterung der Klemmstücke zweckmässiger ist, so besteht heute die Tendenz gleich von Anfang der Konstruktion an, diese Aussenhalterung anzuwenden (Abb.6).

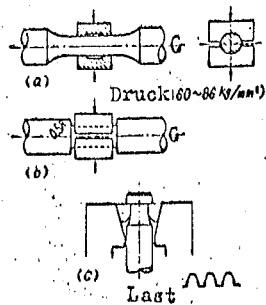


Abb. 5 Die Schwingungsermüdungsprüfung eines abgesetzt bearbeiteten Probestückes und der Eindrehung des Ventilschaftes

Prüfung	Dauerfestigkeitsgrenze kg/mm ²	Bemerkungen
glatt	54,9	Drehbiegebeanspruchung nach Ono
glatt, Druck (a)	30,0	
abgesetzt	28,2	
abgesetzt, Druck (b)	18,5	
aus Zug und Druck zus.-gesetzte Schwingungen (c)	40,8	hydraulisch

Proben: SUH3, Härte H_RC30

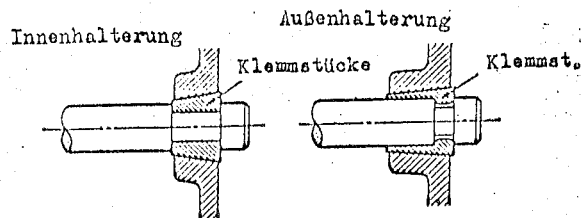


Abb. 6 Die Art der Halterung durch die Klemmstücke

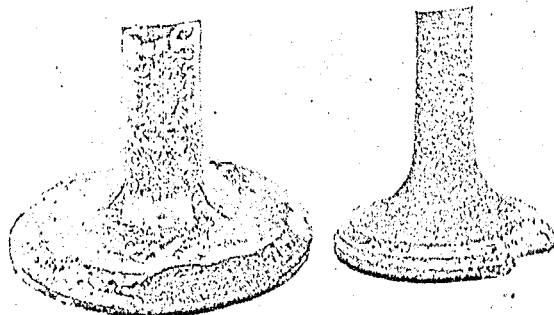


Abb. 7 links: Leakage Blow-by
rechts: Pre-ignition Blow-by

Wenn die Klemmstücke locker werden und erschlaffen, wenn in der Nähe der Schafteindrehung Abriebverschleiss-Spuren auftreten und wenn man das deutliche Gefühl hat, dass wegen ungenügender Schmierung ein Festbacken des Schaftes und ein Bruch der Ventildfeder zu befürchten ist, dann muss genau in der gleichen Weise wie beim Ventilhalsbruch der Ventilbetätigungsmechanismus erneut überprüft werden. Selbstverständlich müssen auch das richtige Spiel, die Schmierung während des Betriebes und so weiter vom Gesichtspunkt der Maßtoleranzen her sowie vom Gesichtspunkt der Handhabung beim Zusammenbau her eingehend untersucht werden.

Dadurch, dass man die Form des Übergangsbogens an den abgesetzten Stellen der Eindrehung des Schaftes groß wählt, kann man zwar mit gutem Erfolg erreichen, dass die Spannungskonzentration an diesen Stellen kleiner wird, bei einer Härte von etwa $H_R C 30$ haben wir jedoch bei Übergangsbogen bis zu 0,5 mm einen Kerbwirkungskoeffizienten von ungefähr 2, so dass experimentiell in dieser Hinsicht nicht viel herauskommt.

2.3 Das Durchblasen (Blow-by)

Am Ventilkegel bzw. am äusseren Umfangsrand des Ventiltellers tritt ein durch die Korrosion bei den hohen Temperaturen verursachtes Durchblasen auf. Man spricht von 2 Formen des Durchblasens nämlich vom Leckdurchblasen (Leakage Blow-by) oder Aushölen (Guttering) und vom Frühzündungsdurchblasen (Pre-ignition Blow-by) (siehe Abb.7).

Das zuerst genannte Durchblasen hat seine Hauptursache in einem schlechten Einstellen des Rollenstössels und darin, dass infolge des Abriebverschleisses zwischen den

miteinander zusammenarbeitenden Ventilsitzteilen das Spiel des Rollenstößels zu klein ist; das zuletzt genannte Durchblasen ist dem/hingegen darauf zurückzuführen, dass insbesondere bei hoher Belastung das Ventil sich nicht dreht und dass an der durch stellenweises Lecken auf eine hohe Temperatur erhitzten Kante des Ventiltellerrandes eine Frühzündung hervorgerufen wird, so dass diese Art des Durchblasens ganz offenbar die Form eines durch die Explosion verursachten Bruches annimmt. Bei allen speziell für hohe Belastungen ausgelegten Benzinmotoren gibt es im allgemeinen starke Akkumulierungen, so dass es häufig vorkommt, dass sich die Ventile beim Betrieb praktisch nicht mehr drehen.

(1) Die an den Ventilwerkstoff gestellte Forderung der Korrosionsbeständigkeit (bzw. der Bleibeständigkeit) hat man vor allem damit begründet, dass dies eine Gegenmaßnahme gegen das Durchblasen ist, und tatsächlich ist diese Korrosionsbeständigkeit eine der Ausrüstungsbedingungen, welche an den Ventilwerkstoff gestellt werden.

Der bei den Auspuffventilen für Benzinmotoren besonders kennzeichnende, das Durchblasen hervorrufende Umstand besteht darin, dass in den Auspuffnebenbestandteilen bei Benzin ein Bleianteil (ungefähr 60-80% PbO) enthalten ist, und dieser Umstand bildet die Grundlage für die Erklärung der Bleioxydkorrosion. Wie man aus der Abb.8 erkennen kann, beginnen die PbO - Ablagerungen in der Nähe des Ventiltellerrandes infolge lokaler Temperaturerhöhungen zu schmelzen und das korrosive Durchblasen des Ventiles schreitet rasch von (a) nach (b) vorwärts.

Bei der Erklärung der PbO-Korrosion [LH6] werden die Reaktionsgleichung $2 Cr_2O_3 + 6 PbO + 3O_2 \rightarrow 2 Pb_3 Cr_2 O_9$ sowie die

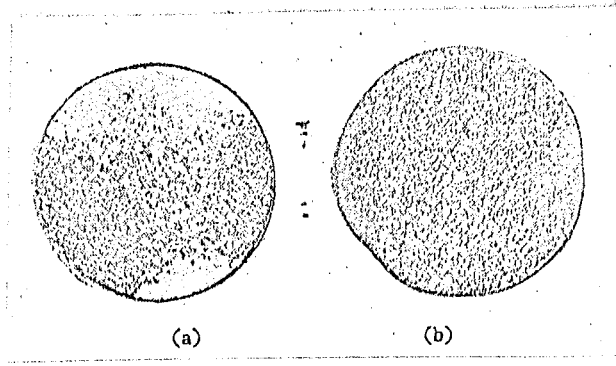


Abb. 8 Die durch Ablagerungen des Bleioxydsystems hervorgerufenen Korrosionserscheinungen auf der Vorderfläche des Ventiltellers

Rangordnung	Legierung:
1	Nimonic 95 .Stellite 6
2	COP
3	21-4N
4	21-12, 21-12N
5	SUH 3f
6	SUH 3

Tafel 3
Die bleibeständigen Ventilwerkstoffe

Land	Stahlsorte	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	Handelsbezeichnung
Japan	SUH1	0.45	3.25	0.4		8.5		
	SUH3	0.40	2.15	<0.6		11.5	1.0	
	NV1	0.41	0.25	1.5				SAE1041
	NV2	0.47	0.25	1.5				SAE1047
	NV3	0.50	0.30	0.8	0.3	0.4	0.15	SAE8150
	NV4	0.40	0.30	0.8	1.25	0.65		SAE3140
U.S. (SAE)	NV5	0.45	0.30	0.9	0.55	0.50	0.20	SAE8645
	NV6	0.50	0.30	0.8		0.80		SAE5150
	HNV1	0.55	1.5	0.4		8.0		Sil. 2
	HNV2	0.40	3.9	0.3		2.2		Sil. F
	HNV3	0.45	3.3	0.4		8.5		Sil. 1
	HNV4	0.45	3.3	0.4	1.0	7.0		731
Deutschland	HNV5	0.35	2.5	0.4	8.0	13.0	0.5	CNS
	HNV6	0.80	2.3	0.4	1.3	20.0		XB
	41Cr4	0.4	0.25	0.65		1.05		SCr4
	42CrMo4	0.4	0.25	0.65		1.05		SCM4
	X45SiCr4	0.45	4.0	0.45		2.75		
	X45CrSi9	0.45	3.0	0.45		9.0		SEH1

Tafel 4
Die Ansaugventilwerkstoffe

galvanische Korrosion besonders stark betont. Da man jedoch bei den experimentell erhaltenen Werten für die PbO-Korrosionsbeständigkeit auf Unstimmigkeiten stösst, so beschränkt man sich bei der Bewertung im Wesentlichen auf das Nachschlagen und ist dadurch auf eine ausreichende Motorenprüfung angewiesen.

(2) Grundsätzlich kann man sagen, dass die Handhabung der Konstruktion und der Einstellung noch viel wichtiger sind. Dies bedeutet:

Die richtige Einstellung des Rollenstößelspieles bedingt die Verwendung eines hydraulischen Rollenstößels;

die Einregulierung der Schmierung des Ventilschaftes bedingt die notwendigen und richtigen Toleranzen bei der Ölzuführung, bei der Ölabdichtung und bei der Führung des Ventilschaftes, sowie die Anwendung einer Oberflächenbehandlung, welche eine Wärmebeständigkeit und eine Abriebverschleissbeständigkeit von grosser Affinität zwischen Öl- und Ventilschaft gewährleistet usw.;

eine Maßnahme zur Gewährleistung einer positiven Drehbewegung des Ventils besteht in der Anwendung eines Ventilroutierers.

(3) Dadurch, dass man den Schlitz auf der Vorderfläche des Ventiltellers wegfallen lässt und die Kanten nur so weit bricht, dass der Rand des Ventiltellers dünner wird, verhindert man eine Erhöhung der Temperatur am Rande des Ventiltellers, und dadurch, dass man durch die richtige Wahl des Eingriffswinkels (des Interferenzwinkels?) des Bleches (sheet) wird die Aufsitzbreite verringert.

(4) Maßnahmen gegen die Deformation der Ventilsitzseite (Verbesserung der Konstruktion der Ventilsitzseite, Verbesserung

der Kühlwasserdurchströmung, Beseitigung der Spannungen, Entfernung von Sandgußgrat usw.). Diese Frage hängt auch mit dem Abriebverschleiss des Ventilsitzes zusammen.

(5) Die Materialeigenschaften des Zylinderkopfes: Wenn der Zylinderkopf aus einer Aluminiumlegierung hergestellt ist, dann kann man die Betriebstemperatur der Ventile niedriger halten, als dies bei einem aus Gußeisen hergestellten Zylinderkopf der Fall wäre. Im Wesentlichen wird die Temperatur bis auf ungefähr 50°C abgesenkt.

(6) Eine bei hohen Temperaturen gegenüber den Ablagerungen korrosionsfeste wärmebeständige Legierung und dergleichen.

(7) Eine Maßnahme zur positiven Absenkung der Betriebstemperatur besteht darin, dass man in das hohle Ventil Natrium einfüllt.

Die Wirkung der mit dem Material des Motors zusammenhängenden Maßnahmen ist je nach der Art des Motors verschieden; es ist eine statistische Bestätigung wünschenswert, welche sich nicht nur auf den Betrieb auf dem Versuchsstand stützt, sondern auch auf praktische Versuche am fahrenden Wagen. Wenn hinsichtlich des Materiales Änderungen getroffen worden sind, dann ist deshalb besondere Vorsicht am Platze, weil sich dann auch die gegenseitige Abriebverschleissbeständigkeit zwischen Ventil und Ventilsitz geändert hat.

2.4 Der Abriebverschleiss des Ventilkegels

Man unterscheidet in der Hauptsache den mechanischen Verschleiß der besonders stark am Ansaugventil auftritt und den Korrosionsverschleiss, der am Auspuffventil entsteht. Der zuerst genannte Verschleiss ist besonders häufig bei Dieselmotoren, welche aus

einem verhältnismässig weniger wertvollen Material hergestellt sind; dabei tritt besonders häufig ein Einfressen der auf das "Oil-up" zurückzuführenden Ablagerungen von Kohlenstoff und Aschenteilchen auf. Die zuletzt genannte Art des Verschleisses der Korrosionsverschleiss entsteht ganz unabhängig von der Beschaffenheit des Kraftstoffes nicht nur bei den Benzinmotoren, sondern auch bei den Leichtölmotoren, welche die höchsten Betriebstemperaturen haben sowie bei den LPG-Motoren mit ihrer schlechten Vergasersystemregelung. Man kann sagen, dass alle Gegenmaßnahmen, die sich auf die miteinander zusammenarbeitenden Ventilkegel und Ventilsitze und ihren Abriebverschleiss beziehen, ausserordentlich schwierig sind. Es werden folgende Maßnahmen empfohlen:

(1) Verhütung eines überschüssigen "Oil-up"; Änderung des Flächendruckes und des Ventilkegelwinkels; Maßnahmen zur Verhütung der Deformation des Ventilsitzes.

(2) Verwendung eines Materials von hoher Härte bei hohen Temperaturen; Oberflächenbehandlung zur Erhöhung der Abriebverschleissfestigkeit; auch die Kombination der Werkstoffe von Ventil und Ventilsitz muss erneut untersucht werden.

(3) Maßnahmen zum Absenken der Betriebstemperatur; insbesondere, wenn es sich um den Korrosionsverschleiss handelt, muss bei einer Neukonstruktion darauf geachtet werden, ob nicht die Ventile im Hinblick auf die vom Motor verlangte Leistung allzu klein sind.

3. Der Werkstoff und die Bearbeitung

3.1 Die Ventilstähle (Tafel 4 und 5)

Es gibt zwar Aufzeichnungen über die vielen verschiedenen Arten von Ventilstählen, die man im Zusammenhang mit der

Land	Stahlsorte	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	W	N	etc.	Handelsbezeichnung	
Japan	SAE3140	0.40	0.27	0.8	1.25	0.65					ステン川	
	SUH3	0.40	2.15	<0.6		11.5	1.0				SEH3	
	SUH31	0.40	2.0	<0.6	14.0	15.0		2.5			SEH4	
	21-12	0.20	0.85	1.3	11.0	21.0						
	21-12N	0.20	0.85	1.3	11.0	21.0			0.2			
	21-4N	0.55	0.2	9.0	4.0	21.0				0.4		
	Sil.10N	0.38	3.0	1.0	8.0	19.0				0.2		
	CRK22	0.3	<1.0	1.0	11.0	20.0	2.2				P0.2 B<0.05	
	G192	0.6	<1.0	8.8		22				0.3		
YA2	0.3	0.3	8.6	10	20	1.6	1.7	0.3		Nb0.5		
U.S. (SAE)	HNV3	0.45	3.3	0.40		8.5					Sil.1	
	HNV6	0.80	2.3	0.40	1.3	20.0					XB	
	EV1	0.45	0.5	0.50	4.8	23.5	2.8				XCR	
	EV2	0.40	0.8	4.3	3.8	24.0	1.4				TXCR	
	EV3	0.20	1.0	1.3	11.5	21.0					21-12	
	EV4	0.20	1.0	1.3	11.5	21.0			0.15~0.25		21-12N	
	EV5	0.38	3.0	1.0	8.0	19.0					Sil.10	
	EV6	0.38	3.0	1.0	8.0	19.0			0.15~0.25		Sil.10N	
	EV7	0.20	0.5	5.0	4.5	21.0				0.30	2155N	
	EV8	0.53	0.15	9.0	3.75	21.0				0.42	S0.07	
	EV9	0.45	0.60	0.5	14.0	14.0	0.35	2.4				TPA
	EV10	1.00	3.0	0.8	14.5	14.5						Cast 14-14
	EV11	0.7	0.55	6.3	<1.9	21.0				0.23		B-312
	HEV1	0.10	0.50	1.5	20.0	21.3	3.0	2.5	0.15		Co20.0	N-155
	HEV2	0.05	0.05	2.30	Base	16.0					Co0.5, Al0.05, Ti3.1	TPM
	HEV3	0.05	0.30	0.60	Base	15.0					Co0.7, Cb+Ta1.0 Al0.7, Ti2.5	Inconel X
HEV4	0.10	0.8	1.50	10.0	20.0		15			Co Base	HS25	
HEV5	0.05	0.6	1.0	Base	20.0					Fe5.0, Al1.2, Ti2.5	Nimonic 80A	
HEV6	0.05	<1.5	1.0	Base	20.0					Al1.2, Ti2.5	Nimonic 90	
Deutschland	X45CrSi9	0.45	3.0	0.5		9.0					SEH1	
	X80CrNiSi20	0.8	2.25	0.4	1.4	20.0					XB	
	X45CrNiW189	0.45	2.5	1.2	9.0	18.0					V444D	
	X45CrNiMo235	0.45	1.2	1.1	5.1	23.0	2.75					
	X80CrMoV193	0.85	<1.0	1.25		20.0	2.5				V0.50	Cromo 193

Tafel 5

Die Auspuffventilwerkstoffe

Weiterentwicklung der Kraftstoffe und mit den immer höher werdenden Motorenleistungen verwendet hat; nachdem jedoch der Siliciumchromstahl (Silchrome-Stahl) erfunden worden ist, hat unter allen wärmebeständigen Stählen eben dieser Stahl das Gebiet für sich erobert, das man als das Gebiet der Ventilstähle bezeichnet.

Als die unerlässlichen Bedingungen, von denen die Eignung eines Stahles als Ventilstahl abhängt, sind Wirtschaftlichkeit, Korrosionsbeständigkeit, mechanische Festigkeit und Bearbeitbarkeit zu nennen, bei der Wahl des Ventilstahles für einen bestimmten Motor müssen jedoch unbedingt auch die Konstruktion des Motors, die Art des Kraftstoffes und die Betriebstemperatur, unter der die Ventile arbeiten müssen, genau untersucht und berücksichtigt werden.

Als Material für die Ansaugventile werden niedrig legierte Stähle oder wärmebeständige Stähle des Martensit-Systems verwendet. Bei uns hier in Japan macht sich doch wohl auch noch der Einfluss früherer Zeiten geltend, da man die Ansaugventile und die Auspuffventile gleich gross bemessen hat und so besteht deshalb auch heute noch die Tendenz von Anfang an die Auspuffventile festzulegen. Einerseits besteht der Wunsch nach Alterungsbeständigkeit (Korrosionsbeständigkeit gegenüber der Luftfeuchtigkeit) und andererseits ist es auch eine gewisse über-grosse Ängstlichkeit, welche dabei wohl den Ausschlag gibt; wenn man jedoch mit Betriebstemperaturen bis zu max. ungefähr 500°C zu rechnen hat, dann darf man sich wohl überlegen, ob man nicht im Interesse einer grösseren Wirtschaftlichkeit ebenso auch niedrig legierte Stähle als ausreichenden Werkstoff verwenden kann. Wenn es sich jedoch um Dieselmotoren, die sehr

hoch belastet werden, handelt, dann braucht man für die Ansaugventile unter allen Umständen einen hitzebeständigen Stahl. In den letzten Jahren hat sich bei dem Material für die Auspuffventile in Benzinmotoren, insbesondere wenn es sich um hohe Betriebstemperaturen handelte, gezeigt, dass die Bleibeständigkeit des Materials einen sehr wichtigen und problematischen Punkt darstellt; in diesem Zusammenhang ist auf die Stähle des Systems 21-4 N aufmerksam gemacht worden.

Im Grossen und Ganzen hat es sich gezeigt, dass man die Stähle des Mn-Cr-Systems als ein verhältnismässig billiges Material anstelle der Stähle des Ni-Cr-Systems verwenden kann, und dass diese Stähle auch eine gute Charakteristik besitzen. So ist es insbesondere der Stahl 21-4N, der neben seiner Bleibeständigkeit auch eine grosse Härte bei Zimmertemperatur besitzt und als aus einem Stück hergestelltes (einteiliges?) Ventil (one piece valve) verwendet werden kann und dabei seine ursprünglichen charakteristischen Merkmale beibehält. Bei uns hier in Japan, wo auch auf dem Gebiet des Ventilbetätigungsmechanismus entsprechende Bedingungen und Vorschriften bestehen, werden die aus einem Stück bestehenden (einteiligen) Ventile bis jetzt noch kaum angewandt.

Die repräsentativen Auspuffventile sind die geschweissten Ventile (two piece valve); diese Ventile sind bei uns hier in Japan allgemein gebräuchlich, wobei man mehr von den hinsichtlich des Preises gestellten Forderungen ausgeht und Herstellungsverfahren anwendet, in denen nicht immer die im Hinblick auf die Festigkeit günstigste Wärmebehandlung enthalten ist. Tatsächlich werden die Stähle des Nickelchromsystems und des Siliziumchromsystems, die eine ausgezeichnete

Schweissbarkeit besitzen, sehr viel und mit gutem Erfolg für die geschweissten Ventile verwendet.

In Westdeutschland wird ausser dem Stahl X 45 CrNiW 189, den man sehr häufig antrifft, auch ein Stahl verwendet, der die Bezeichnung Cromo 193 trägt, und den man durch Vergüten von Ni 60 erhalten hat. Bei der amerikanischen Firma Ford wird schon seit einer Reihe von Jahren durchweg ein austenitischer Nickelchromgußstahl mit hohem Siliziumgehalt bei der Mengenfertigung nach dem Maskenformverfahren (shell mould) mit gutem Erfolg verwendet; den Ausschlag hierbei dürfte jedoch die Tatsache gegeben haben, dass die Maßnahmen, welche eine Korrosionsbeständigkeit zum Ziel haben, nicht allein vom Material abhängen.

Als wichtige Punkte bei den Dieselmotoren sind ausser der Festigkeit bei hohen Temperaturen noch die Säurebeständigkeit und die Korrosionsbeständigkeit gegenüber Schwefelbestandteilen zu nennen; die Stähle des Silizium-Chrom-Systems sind im Hinblick auf ihre Wärmebeständigkeit als repräsentativ zu bezeichnen.

In der Tafel 6 sind die physikalischen Eigenschaften der Legierungen, nämlich ihr spezifisches Gewicht, ihr Wärmeausdehnungskoeffizient und ihre Wärmeleitfähigkeit zusammengestellt.

3.2 Der Oberflächenüberzug und das Härten

(1) Der Ventilkegel (siehe Tafel 7)

Als Maßnahmen gegen den Abriebverschleiss und gegen den Korrosionsverschleiss des Ventilkegels kommen infrage eine Vergütung, ein Aluminiumüberzug oder das Aufschweißen einer wärmebeständigen Legierung. Diese Maßnahmen werden

Legierung	spezif. Gewicht	Wärmetg. W. Exp. Koeff $\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$		
		Cal/cm \cdot S \cdot °C 20~500°C	20~500°C	20~700°C
SUH3	7.75	0.057	12.5	12.0
XB	7.80	—	—	13.2
SEH4	7.8	0.047	16.5	17.4
21-12	7.90	0.05	16.0	16.4
21-4N	7.73	0.05	16.3	17.5
N-155	8.20	0.045	16.0	17.2
Nimonic95	8.0	0.05	13.5	14.2
Stellite 6	8.42	—	—	14.9
Stellite 12	8.47	—	—	14.4
Ni60	8.08	—	—	17

Tafel 6

Die physikalischen Eigenschaften der Legierungen

Verwendet für	Basis	Bezeichnung	Zusammensetzung %	Härte (lt. Angabe)
Ventilkegel	Co	Stellite 6	Cr27, C1.0, W4.0, Co 残, Fe<3.0	HnC 40~45
		Stellite F	Cr25, C1.75, W12, Co 残, Ni22	
	Ni	Ni 60	Cr15, C0.45, Ni60, Si4.5, Fe 残	HnC 20~33
		Brightray	Cr20, C0.2, Ni 残, Si<0.3, Fe<1.0, Mn0.8	
	Ni-Cr	Eatonite	Cr27.5, C2.4, Ni38, W15, Si0.5, Co10.5	
Schaftende	Co	Stellite 1	Cr30, C2.5, W12.0, Co 残, Fe<3.0	HnC 50~58
	Fe	XG260Cr27	Cr27, C2.6, 残 Fe	HnC 50~60

* 残 = Rest

Tafel 7

Die vergüteten Legierungen

Wagenmarke	Stahlsorte	Härte (HnC)	
		Schaft	Stirnfläche
Fiat 1500 Sport	Silcrome 10	23.5~26	26.4
Fiat 1800	21-4N	38 ~40.2	38 ~40.2
Maserati	21-4N	31 ~32.5	34
Facel-Vega Sport	21-4N 類似	39.3~40	39.6~41
Simca Vedette Chambord	X45CrNiW 189	19.5~25.4	25.2
Ford	Cast 14-14	14.4~18.3	20.7
Buick	Silcrome 10	28 ~32.7	28.1
Dodge	21-4N	32.5~42.2	38.7
Corvair	21-4N	38 ~40	35.2

Tafel 8

Beispiele ausländischer einteiliger Auspuffventile aus austenitischem Stahl

auf bereits vorhandene Ventilstähle, welche für die unmittelbare Verwendung in dem Zustand, in welchem sie sich befinden, nicht ausreichend praktisch angewandt, dabei lassen sich jedoch hohe Kosten nicht vermeiden.

Die Vergütung:

Stellit auf Kobaltbasis trifft man häufig an. Im Hinblick auf die bei den Benzinmotoren besonders wichtigen Eigenschaften der Bearbeitbarkeit und der Bleibeständigkeit, werden in Europa und in Amerika vergütete Stähle auf Nickelbasis verwendet, insbesondere in Westdeutschland wird der Stahl Ni 60 in grossem Umfang angewandt. Bei den hochbelasteten Motoren werden nicht nur die Auspuffventile, sondern auch die Ansaugventile aus vergüteten Stählen hergestellt.

Der Aluminiumüberzug:

Für die Herstellung des Aluminiumüberzuges kommen das Tauchverfahren (Dip-Verfahren) [LH7] und das Metallisierungsverfahren (Metallize-Verfahren) [LH8] infrage; in beiden Fällen nützt man die Säurebeständigkeit und die Abriebverschleißbeständigkeit der Aluminiumlegierungsschicht aus. In den letzten Jahren werden in Amerika bei den Personenkraftwagen für die Ansaugventile in der Hauptsache Kohlenstoffstähle (SAE 1041, 1047) verwendet.

Sonstige Maßnahmen:

Als Maßnahme gegen den Abriebverschleiss des Ventilkegels bei Ansaugventilen hat man auf den Stahl SUH 3 die Hochfrequenzhärtung oder die Flammhärtung angewandt, über die Wirkung dieser Härtungen sind sich zwar die Fachleute nicht einig; es wird jedoch eine Tendenz festgestellt, dernach durch diese beiden Härtungsarten dem Abriebverschleiss

Einhalt geboten wird. Die Weichnitrierung der Ansaugventile scheint die Wirkung einer Verringerung des Abriebverschleisses des Ventilschaftes und ausserdem auch des Ventilkegels sowie des gegenseitigen Abriebverschleisses zwischen Ventilsitz und Ventilkegel zu haben. Bei den Auspuffventilen hat man auch teilweise eine Nitrierung versucht, es gibt jedoch in der Literatur schon weit zurückliegende Hinweise auf die Nachteile dieser Nitrierung für die Korrosionsbeständigkeit, bei Maschinenteilen, die bei hohen Temperaturen arbeiten müssen, darf jedenfalls die Nitrierung nicht angewandt werden, da das Material sonst spröde wird und leicht Risse bekommt. Man ist heute dabei, ein praktisch brauchbares Verfahren zur Oberflächenbehandlung zu entwickeln, durch das eine Verschleißfestigkeit erzielt werden soll und bei dem die Nachteile der obengenannten Nitrierung wegfallen.

(2) Die Ventilschaftstirnfläche

Die Härtung der Ventilschaftstirnfläche wird bei den Ventilstählen des Martensit-Systems auf dem Wege der Flammhärtung, der Hochfrequenzhärtung oder der elektrolytischen Härtung [LH10] ausgeführt. Gewöhnlich beträgt die Härtungstiefe von der Ventilschaftstirnfläche an 1-3 mm, es kommt jedoch auch vor, dass bis zu dem weiten Bereich, welcher die Klemmstückeindrehung enthält, gehärtet wird. Wenn bei den austenitischen einteiligen Ventilen eine Härtung der Ventilschaftstirnfläche erforderlich ist, dann wird gewöhnlich Stellite 1 vergütet. Es ist jedoch im Hinblick auf die Besonderheit der Materialeigenschaften zweckmässig, ein härtbares Stahlstück anzuschweissen oder eine besondere Oberflächenhärtungsbehandlung durchzuführen.

Das Festbacken der Ventilschaftstirnfläche hängt weniger von den Materialeigenschaften und der Form ab, es wird vielmehr durch die Beschaffenheit der Ölzuführung bestimmt, es muss jedoch in konstruktiver Hinsicht die gegenseitige Lage der Ventilbetätigungsschwingen (rocker arm) genau untersucht werden und es muss dafür gesorgt werden, dass das auf die Ventilschaftstirnfläche kommende p_v den richtigen Wert hat

[LH11.]

(3) Der Ventilschaft

Im allgemeinen wird der Ventilschaft nach dem Schleifen nicht mehr weiterbehandelt, um jedoch dem Abriebverschleiss entgegenzuwirken, wird er häufig mit einem Chromüberzug versehen, seltener wird er einer Gas- oder Flüssignitrierung unterworfen. Um das Festbacken zu verhüten, versieht man den Ventilschaft gelegentlich auch mit einem Überzug aus einem oxalsauren Salz.

4. In welcher Richtung geht die konstruktive Weiterentwicklung der Ventile

(1) Vom Gesichtspunkte des werkstoffmässigen Aufbaues der Ventile her gesehen ist im Ausland eine Tendenz festzustellen, bei den kleinen Motoren einteilige Ventile aus austenitischem Stahl zu verwenden (Tafel 8). Da je nach der Art des Ventilbetätigungsmechanismus durch Formveränderungen an der Ventilschaftstirnfläche oder durch Grübchenbildung infolge des Abriebverschleisses Ermüdungserscheinungen auftreten können, so muss man sich zuerst in ausreichendem Maße davon überzeugen, ob einteilige Ventile aus austenitischem Stahl geeignet sind. Allem Anschein nach dürfte sich in der Zukunft aus der Anwendung hydraulisch betätigter

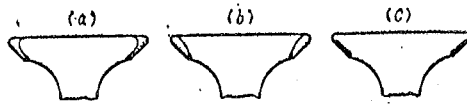
Rollenstößel und aus konstruktiven Veränderungen usw. doch wohl eine auf das einteilige Ventil für die kleinen Motoren hin gerichtete Tendenz ergeben.

(2) Um dem Durchblasen (blow-by) entgegenzuwirken, ist schon viele Arbeit in der Form von Vergütung des Stahles geleistet worden. Als Zwischenlösung zwischen der bisher gebräuchlichen Vergütung des Ventilkegels und der gesamten Vergütung gibt es, wie die Abb. 9 (a) [LH12] zeigt, Lösungen, bei denen die Vergütung über den Ventiltellerrand bis zu einem Teil der Ventiltelleroberfläche durchgeführt ist; in diesem Falle hat man das weiche Material Ni 60 verwendet

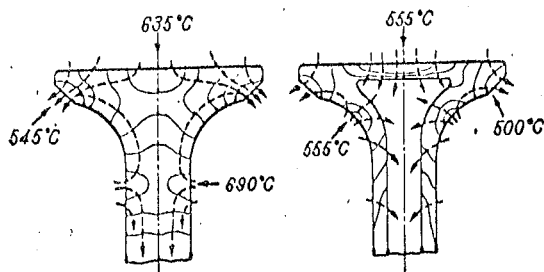
(3) Eine besonders geartete Entwicklungstendenz der Auspuffventile finden wir u.a. bei der Fa. Benz, die seit einigen Jahren für hochwertige Personenkraftwagen und für Sportwagen u.a. natriumgekühlte Hohlventile verwendet. Bei einer Hohlventil, wie wir es in der Abb. 10 dargestellt finden, bekommen wir, wenn wir einen Vergleich mit einem massiven Ventil derselben Abmessungen anstellen, am heißen Punkt eine Temperaturabsenkung von ungefähr 120°C , und es ist auch anzunehmen, dass man keinen Austenitstahl zu verwenden braucht. Die Abb. 10 zeigt ein aufgrund der "Draw Curve Methode [LH13] erhaltenes Beispiel der Temperaturverteilung.

Ganz besonders bemerkenswert ist bei der Verwendung hohler Ventile das sprunghafte Ansteigen der Lebensdauer und die Tatsache, dass man selbst bei einem Benzin von niedriger Klopfestigkeit noch eine ausreichende Leistung erwarten kann.

(4) Die Ventilschaftdrehung, in welche die Klemmstücke eingelegt werden, ist zwar bei den bisher gebräuchlichen Konstruktionen grossenteils als Innenhalterung ausgeführt



Tafel 9
Arten der Vergütung des Ventilkegels



Tafel 10
Beispiel des Temperatureffektes an einem
hohlen Ventil

worden, seit einigen Jahren wird aber auch immer häufiger die Aussenhalterung angewandt.

(5) Was u.a. die Veränderungen der äusseren Form betrifft, so ist man eben dabei, den Schlitz für den Schraubenzieher am Ventilteller wegfallen zu lassen und am äusseren Umfang des Ventiltellers die Kanten zu brechen; damit soll neben einer Verbesserung des Wirkungsgrades eine Reduzierung der Deformation durch Wärme und eine Abschwächung des Durchblausens (blow-by) erreicht werden. Um insbesondere bei den Auspuffventilen für hochtourige Motoren die Festigkeit der Ventile zu erhöhen, hat man die Tendenz weniger die tulpenförmigen Elastikventile zu nehmen, sondern vielmehr das Verhältnis zwischen Ventiltellerdurchmesser und Ventilschaftdurchmesser klein zu machen und ausserdem für solche Abmessungen zu sorgen, bei denen das Gewicht möglichst gering wird. Andererseits hat sich bei den Ansaugventilen die Tendenz herausgestellt, im Interesse eines guten Ansaugwirkungsgrades den Ventiltellerdurchmesser, im Gegensatz zu den auspuffseitigen Ventilen gross zu wählen und ausserdem auch bei der Ventilhalbogenform mehr als bisher darauf zu achten, dass dieser Bogen möglichst klein wird.

5. Zusammenfassung

An der äusseren Form des Ventils, dem sog. Pilzventil sind keine besonderen Veränderungen vorgenommen worden, es sind jedoch viele und grosse Anstrengungen unternommen worden, um Hand in Hand mit einer Steigerung der Motorleistung die Lebensdauer der Ventile als solcher zu erhöhen und ihren Preis zu senken. Ausgehend von dem Gesichtspunkt der Bedingungen eines unvernünftigen Herabdrückens des Preises für das Ventil, das in einer Hinsicht als Verschleissstück angesehen

wird, darf man es doch andererseits nicht soweit kommen lassen, dass man für die Zuverlässigkeit des ganzen Motors fürchten muss. Der Erhöhung der Leistungsfähigkeit eines Ventiles ausschliesslich von der Ebene des Materiales und der Bearbeitung her sind - wie bereits oben dargelegt - Grenzen gesetzt, von fundamentaler Bedeutung für die Leistungsfähigkeit eines Ventiles ist die Absenkung seiner Betriebstemperatur. Es gibt viele Ventile, bei denen man sich ohne die geringste Befürchtung auf die Konstruktion des Ventilsitzes und der einzelnen miteinander zusammenarbeitenden Teile des Ventilbetätigungsmechanismus, auf eine ausreichende Bemessung der Ventildführung, darauf, dass ein "oil-up" verhütet wird und ausserdem auf die Einrichtung zum Rotieren der Ventile sowie auf die Ölrollenstößel (hydraulischen Rollenstößel?) verlassen darf.

Ganz offenbar kommt jetzt die Zeit, wo man sich, wie wir das jetzt schon in Westdeutschland sehen, Hand in Hand mit dem Auftreten neuer wärmebeständiger Legierungen auch nach hochwertigen Ventilen umsehen wird, die für einen Halbpermanenten Gebrauch geeignet sind.

Literaturhinweise

- 1.) Kurihara, Shin Mitsubishi Jukojutsuho Band 5 Nr. 3 (1963)
- 2.) Araki, Mitsubishi Jukojutsuho, Band 1 Nr. 2 (1964)
- 3.) Sabimoto, Fujihara, Shin Mitsubishi Jukojutsuho, Band 4 Nr. 2 (1962)
- 4.) Metals Handbook Vol. 1 (1961) p. 628
- 5.) Kinshi, Der Ventilbetätigungsmechanismus bei hochtourigen Motoren
- 6.) Handbook of Mechanical Wear (1961) p. 258
- 7.) Sawaremi, Fujimoto, Kawamoto, Shin Mitsubishi Jukojutsuho Band 4 Nr. 1 (1962)
- 8.) Koyanagi, diese Zeitschrift, Band 2 Nr. 10 (1963) S.71

- 9.) Thum, The Book of Stainless Steels (1933) p. 414
- 10.) Sowaremi, Kawamoto, Shin Mitsubishi Jukojuitsuho
Band 3 Nr. 1 (1961)
- 11.) Okamura, Sammlung von Berichten der japanischen Gesellschaft für Mechanik, Nr. 110 (1964-4)
- 12.) Herbert Stein, M.T.Z. Vol. 21 No. 10 (1960)
- 13.) Uchiumi, Iwata, Shin Mitsubishi Jukojuitsuho, Band 1
Nr. 2 (1960)