U. D. C. 669. 15'24'26'28'292. 018. 254. 3

日立評論

厚鋼板打抜型鋼の研究

Study on the Die Steel for Punching and Shearing of Thick Plates

根本 正* Tadashi Nemoto　八重樫敏雄** Toshio Yaegashi　久米邦弥*** Kuniya Kume

内容梗概

薄鋼板の打抜型用鋼には，一般に高炭素高 Cr 系の鋼種が使用されているが，この種型鋼では厚鋼板打抜時の衝撃により型の破損を招来するおそれがある。著者らは厚鋼板打抜型鋼を開発するため，中炭素鋼に Cr, Ni, Mo, W および V を添加した数種の鋼について焼入性および機械的性質を究明し，次いで打抜性能に及ぼす影響をも調査して中炭素 Cr-Ni-Mo-V 鋼[1][2]が厚鋼板の打抜きに適した性能をもつことを明らかにするとともに，その応用例について述べた。

1. 緒言

近年各種産業機械の大形化に伴って構造用鋼板も漸次厚くなり，かつ，特殊鋼板が使用されるに及んで打抜加工もますます困難をきわめてきている。したがって，これに使用される各種の打抜型鋼あるいはせん断刃物はいよいよ過酷な条件下で使用されることは必至であり，在来のダイス鋼ではこれらの要求に応じきれない場合がある。従来，薄鋼板の打抜型鋼には市販の高炭素高 Cr 系のダイス鋼が用いられ，厚鋼板の場合には，これらを高温焼戻しでかたさを下げ靭性を付与して使用されてきた。しかし往々にして刃こぼれあるいは破損事故が多く，その原因は靭性の不足が最大の要因であった。著者らはその対策として靭性を有する厚鋼板打抜型材の開発研究に意をそそぎ，焼入性がすぐれ，靭性に富む中炭素 Cr-Ni-Mo-W-V 鋼を見いだした。その使用実績も従来のダイス鋼をしのぐ良好な結果を示したので以下その実験結果と応用の一例について述べる。

2. 中炭素 Cr-Ni-Mo-W-V 鋼の諸性質に及ぼす C と Cr の影響

打抜型鋼にはその用途や使用条件に応じて多くの鋼種が市販されているが，一般に高炭素高 Cr 系のダイス鋼が多く用いられている。しかし，これらはおもに耐摩耗性に重点がおかれており，厚鋼板打抜型鋼に要求される靭性を満たしきれないきらいがある。そこで著者らは特に靭性向上の見地から C を低めて中炭素として，C の減少による焼入性の低下を Ni と Cr を適量添加することにより補い，かつ耐摩耗性は Mo, W, V などの添加により維持するため中炭素 Cr-Ni-Mo-W-V 鋼について Ni を 2%，Mo, W をともに 1.0%，V を 0.7% の一定とし，これに C を 0.45～0.83%，Cr を 2.0% と 5.0% に変化せしめた 8 鋼種について打抜特性，焼入性，靭性などを研究した。

試料の化学成分と変態点とを**第 1 表**に示す。すなわち A 群は Cr 2%，B 群は Cr 5% で，ともに C が 0.45～0.83 の 4 段階にわかれ，8 鋼種を作成して下記の実験に供した。

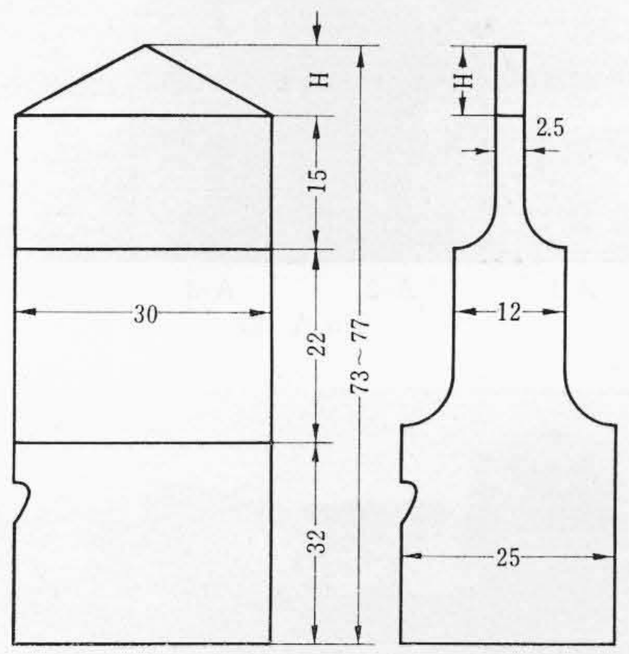
第 1 表　試料の化学成分(%)および変態点(℃)

試番	化学成分 (%)								変態点(℃)	
	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	W	V	加熱	空冷 (Ar″)
A—1	0.45	0.46	0.68	2.11	2.12	0.97	1.13	0.73	745～805	225
A—2	0.62	0.40	0.64	2.01	2.12	0.99	0.97	0.73	740～795	210
A—3	0.70	0.38	0.54	1.98	1.98	0.91	0.95	0.68	735～785	185
A—4	0.81	0.34	0.51	1.95	1.95	0.88	0.91	0.73	730～780	155
B—1	0.46	0.43	0.69	2.11	4.70	1.16	0.94	0.67	740～810	225
B—2	0.58	0.36	0.67	2.09	4.69	1.10	0.92	0.62	755～805	185
B—3	0.70	0.30	0.62	2.01	4.65	1.06	0.89	0.62	755～805	165
B—4	0.83	0.35	0.58	2.01	4.71	1.01	0.88	0.62	765～815	165

2.1 打抜性能に及ぼす影響

各試料より**第 1 図**に示す 2.5×30 mm 幅の雄型を作成し，この場合先端 H の寸法は打抜抵抗を変えるため 4 mm および 6 mm の 2 種とした。一方雌型には SKD-1 を用いて一組の抜型を構成した。各試料より作られた雄型は 900～950℃ から油焼入れ後 200～300℃ で Rc 55 になるように焼戻しされた。

一組の抜型は 30 t クランクプレスに取り付けられ，被打抜材には



第 1 図　短冊状穴加工用雄型試験片形状(mm)

9 mm の軟鋼板を用い，雄型が破損するまでの打抜回数を求めて比較検討した。

第 2 表は A および B 群の 8 鋼種の打抜試験結果である。打抜試験はきわめて過酷な条件下で優劣を判定しようとしたため，打抜回数のみで性能を判定することはできないが，ほぼ次のことが明らかである。すなわち，両群とも C 量が少ない場合には破損までの打抜回数は多いが，刃元からの曲がり変形が著しい。しかし Cr 量が多い B 群のほうは刃先の摩耗量が少ない。他方，C 量が多くなると刃の根元より破損しやすく，耐衝撃性が劣ることが明らかに知られる。**第 2 図**は打抜試験後の雄型の外観を示す。

2.2 焼入性および靭性に及ぼす影響

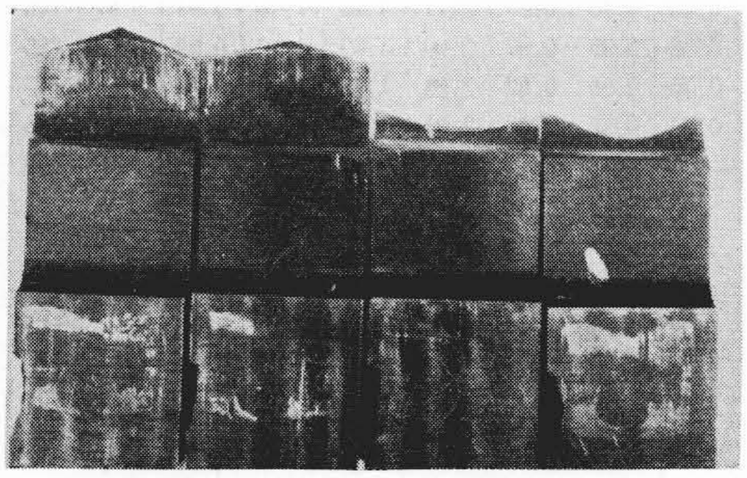
上記の実験結果から中炭素 5% Cr-Ni-Mo-W-V 鋼(以下 HND 鋼と称す) がすぐれた打抜性能を示すことがわかったが，さらに C および Cr が焼入焼戻温度とかたさ，さらに衝撃値に及ぼす影響を究明した。

まず**第 3, 4 図**は焼入温度とかたさの関係である。両図から焼入かたさは C 量が多いほど大となり，B 群においては C 量が増すに従い最高かたさを示す焼入温度が低温側に移行していることが知られ

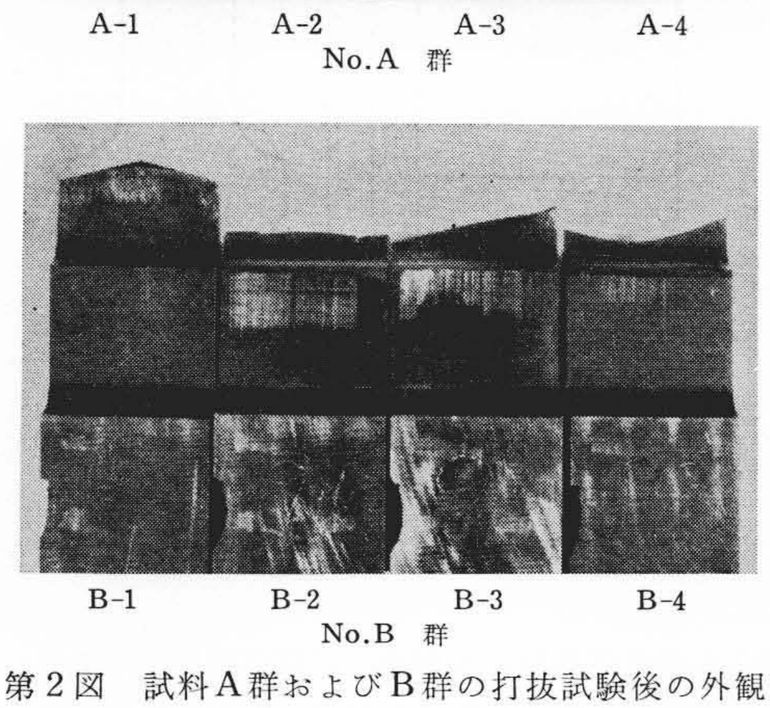
*　日立製作所日立研究所　工博
**　日立製作所勝田工場
***日立製作所日立工場

第2表　打　抜　試　験　結　果

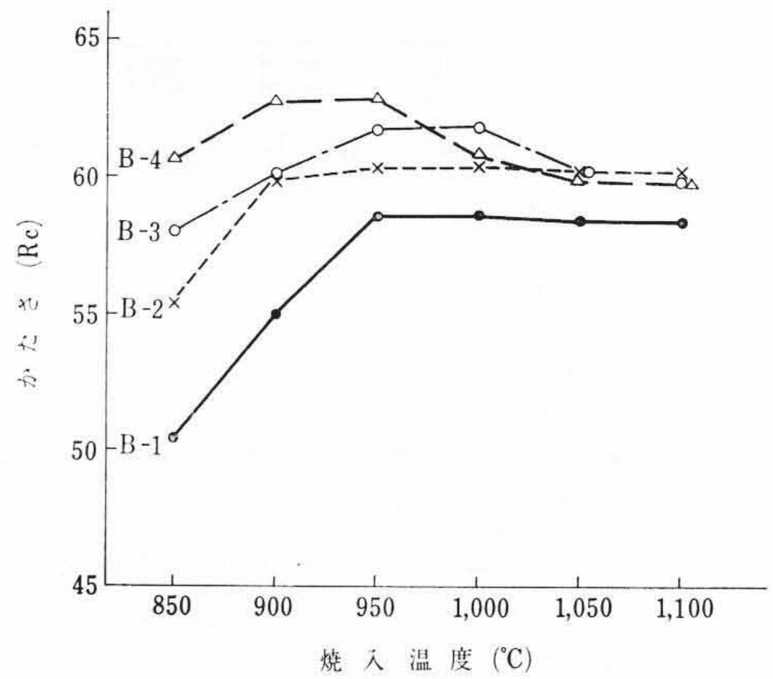
試　番	H寸法 (mm)	かたさ (Rc)	打抜数	刃　先　状　況
A—1	6	56	300	曲り変形で打抜不能，刃先摩耗大
	4	55	77	刃根元より破損
A—2	6	56	220	刃根元より破損
	4	57	79	曲り変形大なるため打抜不能
A—3	6	56	174	刃根元より破損
	4	57	25	刃根元より破損
A—4	6	57	113	刃根元より破損
	4	57	40	刃根元より破損
B—1	6	54	300	曲り変形で打抜不能，刃先摩耗小
	4	55	170	曲り変形で打抜不能，刃先摩耗小
B—2	6	57	190	曲り変形で打抜不能，刃先摩耗小
	4	57	30	刃根元より破損
B—3	6	57	22	刃根元より破損
	4	58	16	刃根元より破損
B—4	6	58	42	刃根元より破損
	4	58	23	刃根元より破損



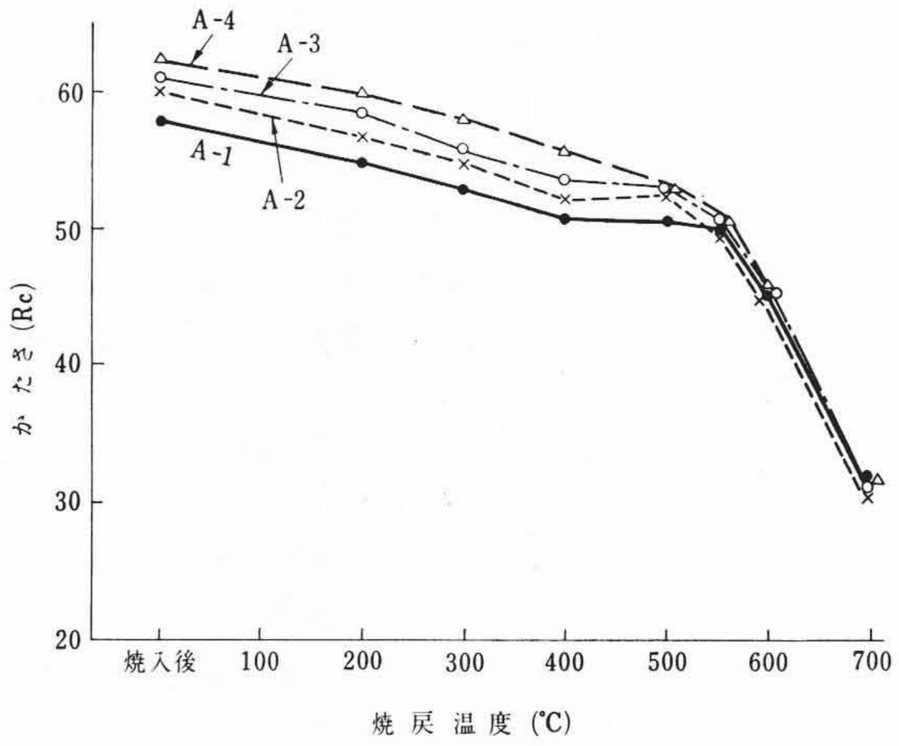
第2図　試料A群およびB群の打抜試験後の外観



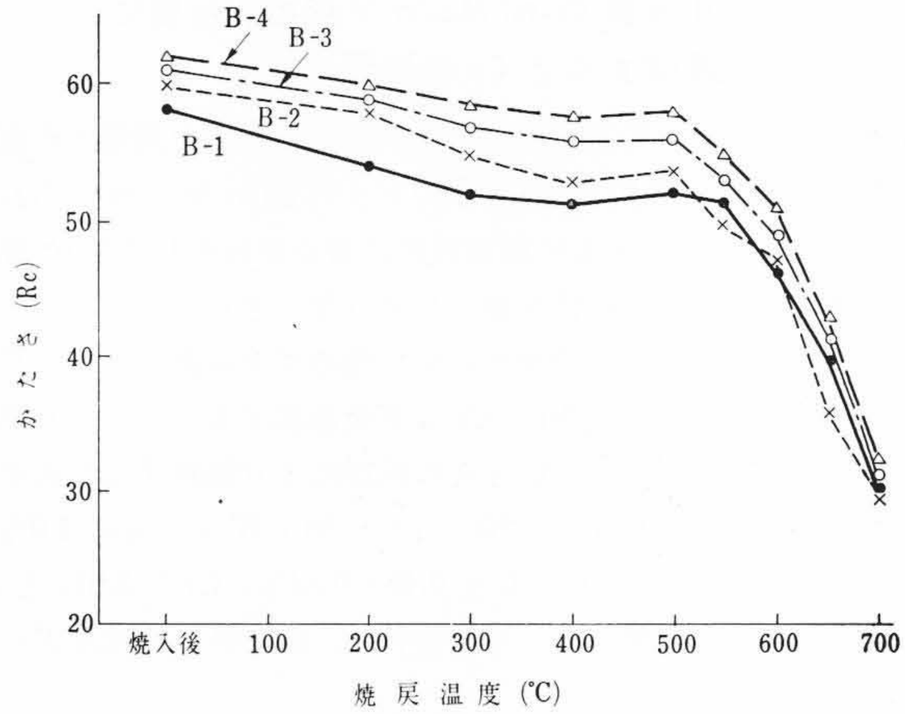
第3図　試料A群の焼入温度とかたさとの関係



第4図　試料B群の焼入温度とかたさとの関係



第5図　試料A群の焼戻温度とかたさとの関係

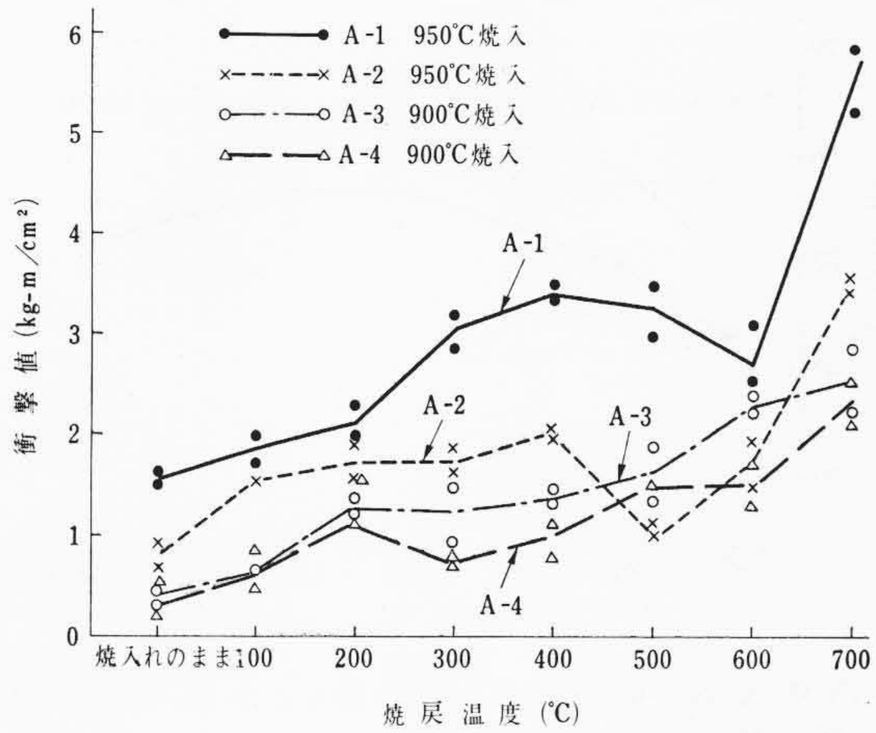


第6図　試料B群の焼戻温度とかたさとの関係

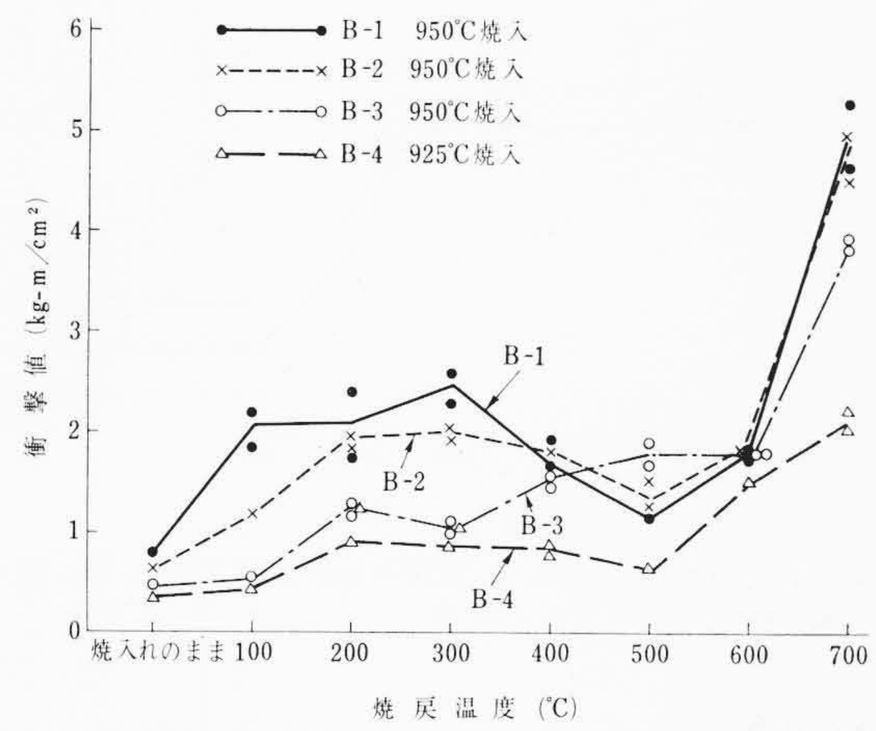
る。次に**第5, 6図**はそれぞれ最高かたさを示す温度から焼入れ後の焼戻温度とかたさの関係を示す。図から知られるように，両群とも焼戻温度500℃付近までのかたさの低下は小さいが，B群のほうがやや焼戻抵抗が大きい。

次に**第7図**および**第8図**は焼入焼戻による衝撃値の変化を示す。図からわかるように，試料AおよびB群ともC量が多くなるほど衝撃値は低下し，Cr量による差は僅少であるが，B群のほうが500℃付近での焼戻脆性がやや大である。

以上の実験結果から厚鋼板打抜型鋼にはCr量が低いと強度および耐摩耗性が不足するのでCr量は多いほうが望ましく，一方C量を増すことはかえって耐衝撃性を減ずるので中炭素5% Cr鋼が最適



第7図　試料A群の焼戻温度と衝撃値との関係



第8図　試料B群の焼戻温度と衝撃値との関係

と考えられる。

3. 中炭素 Cr-Ni-Mo-W-V 鋼と各種ダイス鋼との比較

3.1 HND 鋼と SKD ダイス鋼との比較

第3表は供試料の化学成分である。表において上例の3鋼種は Cr 13% および 5% を含む SKD ダイス鋼である。表には参考のために SKS-3, 含 Ni ダイス鋼および SNCM 相当材の Ni-Cr-Mo 構造用合金鋼とを加え，最下列は HND 鋼である。

以上の鋼種から**第9図**に示す 4 mm 穴打抜用ピンを旋削し，焼入焼戻法により Rc 55 に調質した。次いで**第10図**に示すようにピンを雄型とし，一方雌型には SKD-1 を Rc 55 に調質して軟鋼製型に埋め込んで一組の抜型を構成した。これを 30 t クランクプレスに取り付け，厚さ 4.5 mm および 6.0 mm 軟鋼板に 4 mm の穴をあけ，ピンが破損するまでの打抜回数を求めて比較した。

第11図は7鋼種による打抜試験結果である。図には初め厚さ 4.5 mm 鋼板に 4 mm 穴を 200 回打抜き，続いて厚さ 6 mm の鋼板を打抜いた場合と，最初から厚さ 6 mm 鋼板を打抜いた場合との打抜回数を示してある。なお破断個所はすべて 4 mm 穴刃先部から 10 mmR に移る根元に生じた。図から明らかなように SKD ダイス鋼よりも Ni-Cr-Mo 鋼がすぐれ，さらに HND 鋼が最もすぐれた打抜性能を示すことがわかる。これは試験の性質からみても各鋼種の強靭性を十分裏書きしているものとして興味深い。

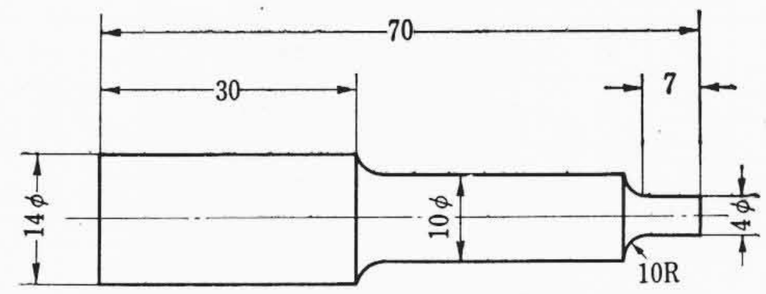
3.2 1% C-5% Cr-Mo-V 鋼との比較

3.2.1 打　抜　試　験

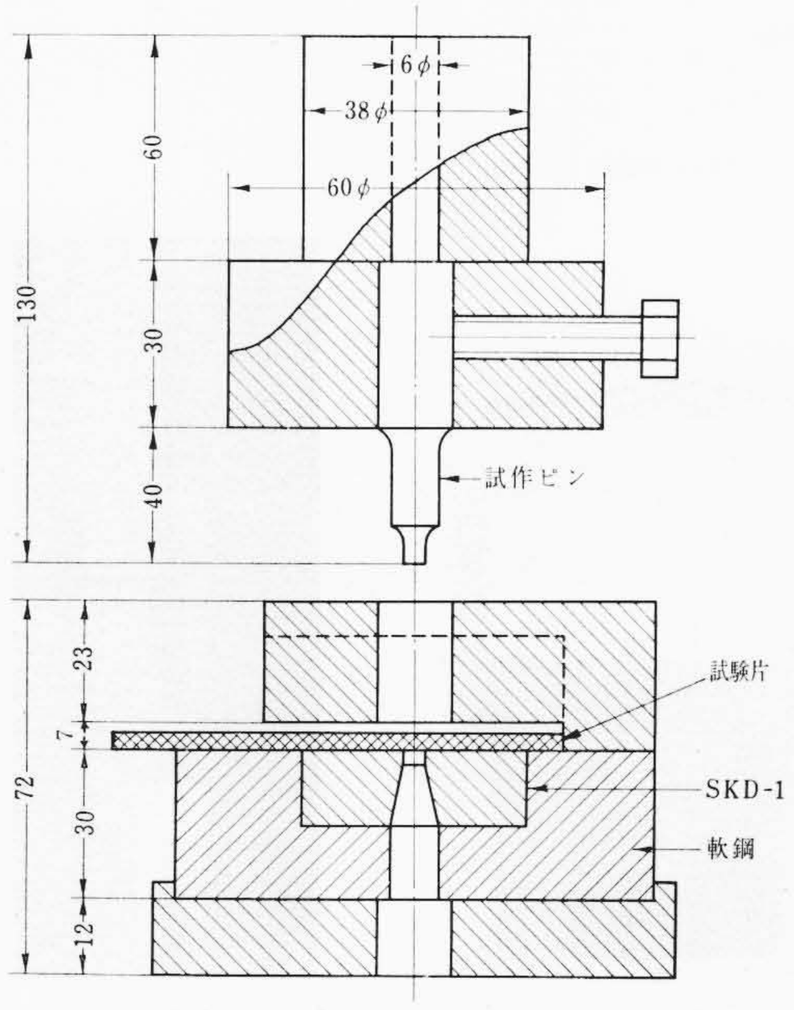
上述の実験結果から HND 鋼が厚鋼板打抜型鋼に適しているこ

第3表　試料の化学成分 (%)

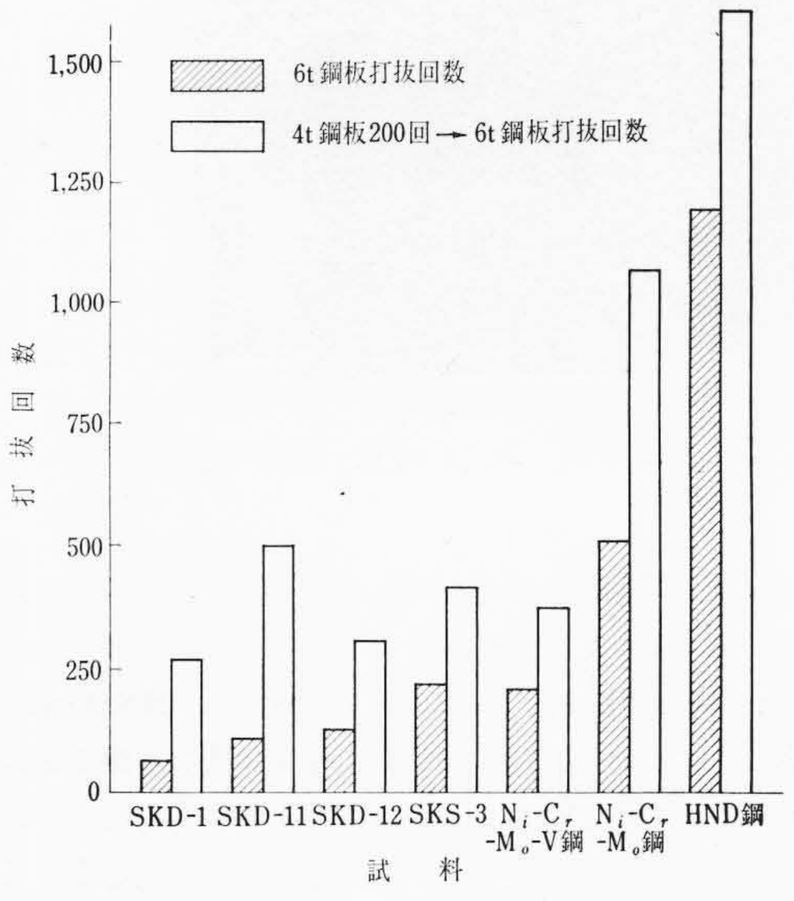
鋼　種	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	V	W
SKD—1	2.03	0.32	0.54	—	13.64	—	—	—
SKD—11	1.45	0.40	0.39	—	12.51	0.68	0.21	—
SKD—12	1.05	0.29	0.40	—	5.19	1.06	0.26	—
SKS—3	1.19	0.35	0.56	—	0.97	—	—	1.16
Ni-Cr-Mo-V	0.86	0.33	0.58	1.84	0.81	0.22	0.31	—
Ni-Cr-Mo	0.55	0.31	0.75	1.91	0.79	0.18	—	—
Ni-Cr-Mo-W-V	0.52	0.30	0.71	2.06	5.02	0.95	0.45	1.08



第9図　打抜試験用ピンの形状(mm)



第10図　打抜試験用型の形状(mm)



第11図　各種ダイス鋼による打抜試験結果

とが知られたので，引き続いてアメリカで厚鋼板打抜型材として推奨されている 1% Cr-5% Cr-Mo-V 鋼 (Cromoloy 相当材)，Ni-Cr

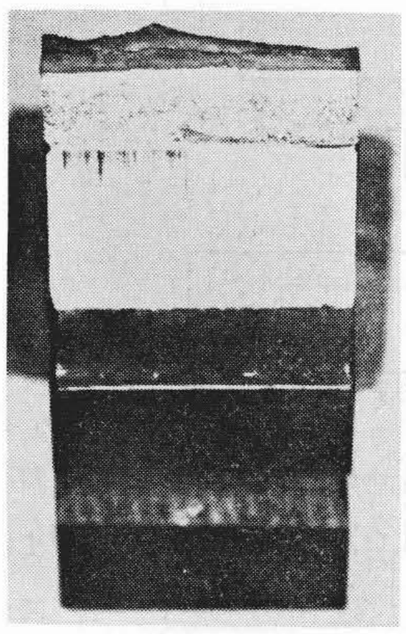
第4表　試料の化学成分（%）

鋼種	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	V	W
Cromoloy 相当材	0.99	0.33	0.74		5.32	1.20	0.59	—
HND 鋼	0.49	0.40	0.77	2.15	5.21	1.16	0.58	0.76
Ni-Cr-Mo鋼	0.49	0.19	0.47	1.96	0.87	0.25	—	—

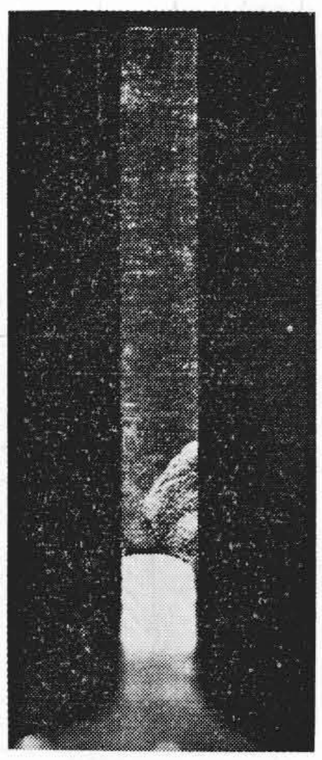
第5表　打抜試験結果

鋼種	H (mm)	かたさ (Rc)	打抜回数	刃先状況	備考
Cromoloy 相当材	4	57	66	刃の根元より破損	
	6	56	84	刃こぼれで打抜不能	
	8	56	80	刃こぼれで打抜不能	
HND 鋼	4	56	147	異常なく，さらに打抜可能	
	6	56	147	異常なく，さらに打抜可能	
	8	57	147	異常なく，さらに打抜可能	
Ni-Cr-Mo 鋼	4	56	18	刃の根元より破損	
	6	56	147	4隅の摩耗大	
	8	57	147	4隅の摩耗大	

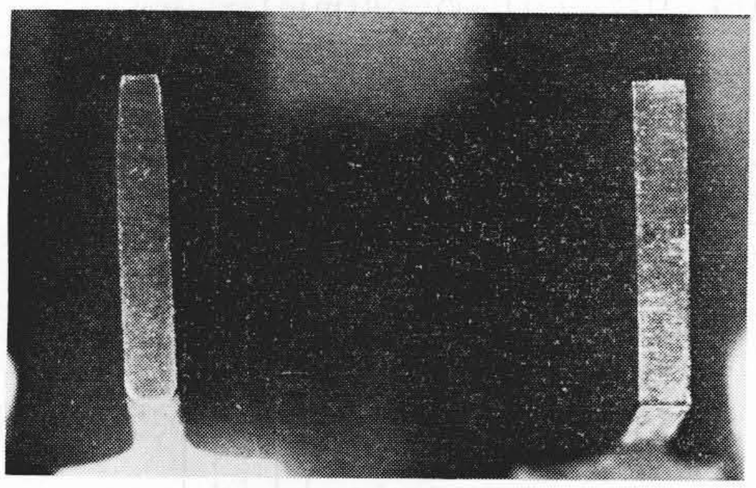
打抜板……13 Cr 鋼板厚 7.3 mm



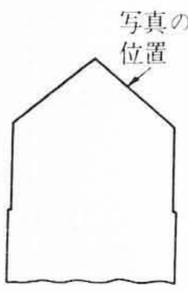
Cromoloy 相当材の根元破損部



Cromoloy 相当材刃こぼれ



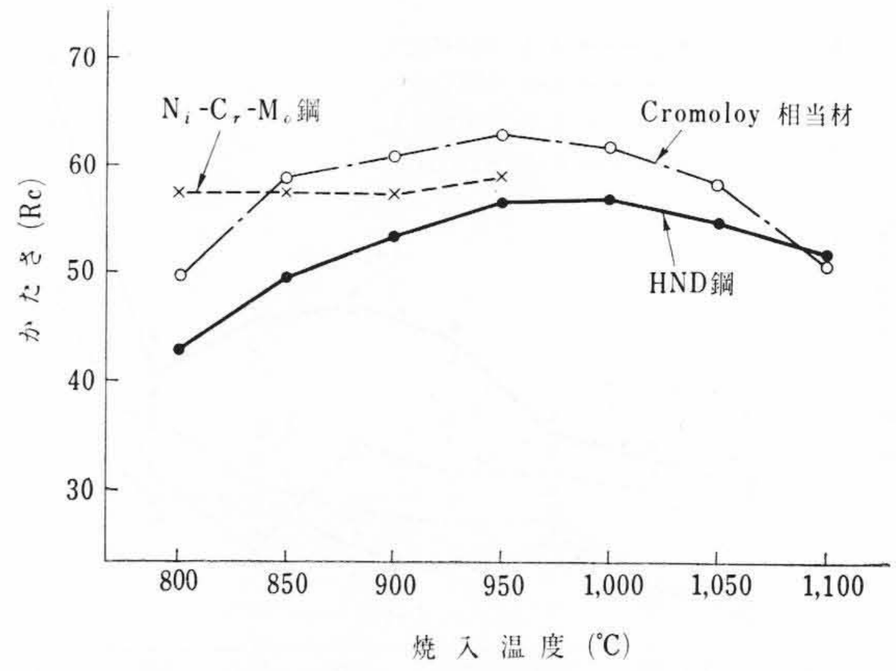
Ni-Cr-Mo HND 鋼摩耗部の外観



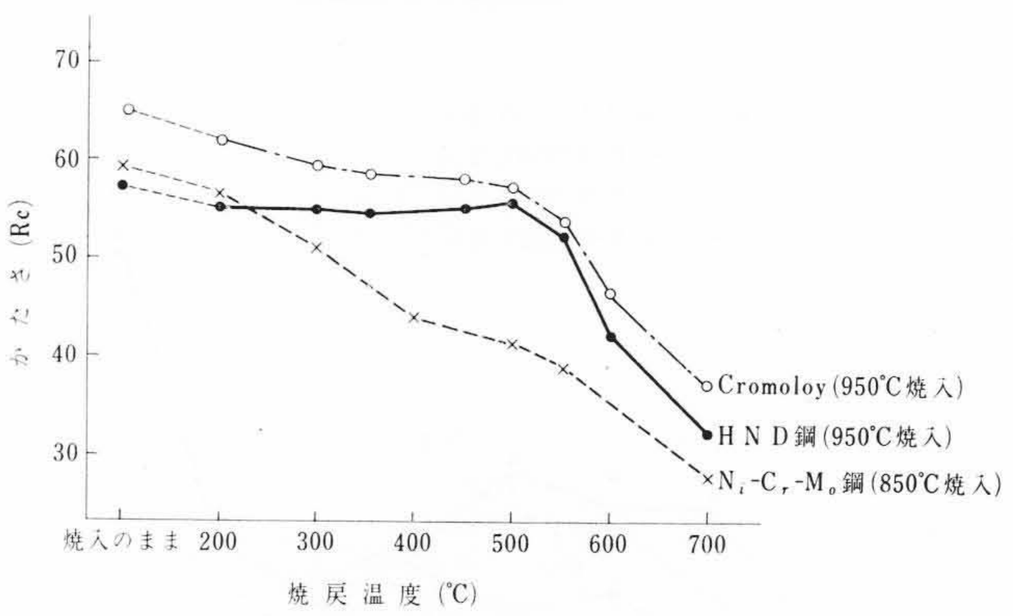
第12図　打抜試験後の外観

-Mo 鋼およびHND鋼の打抜性能を短冊状穴加工により比較検討するとともに焼入性および靭性についても検討を加えた。

第4表は当所で溶製したCromoloy 相当材，HND 鋼および Ni-Cr-Mo 鋼の化学成分である。これら3鋼種から**第1図**に示すような短冊状穴加工用雄型を作り，焼入焼戻法によってRc 55 に調質した。なお雄型刃先のH寸法は刃先の打抜抵抗を変えるため，4, 6 および 8 mm の3種に変えて比較した。次いで**第10図**と同様に雌型を SKD-1 として打抜型を製作した。これらを 30 t クランクプレスに取り付け，厚さ 7.3 mm の 13% Cr 鋼板 (SUS-21) に 2.5×30 mm の短冊状の穴をあけ，雄型刃先の摩耗状況を観察して打抜性能を比較した。



第13図　Cromoloy 相当材，HND 鋼および Ni-Cr-Mo 鋼の焼入温度とかたさとの関係



第14図　Cromoloy 相当材，HND 鋼および Ni-Cr-Mo 鋼の焼戻温度とかたさとの関係

抜性能を比較した。

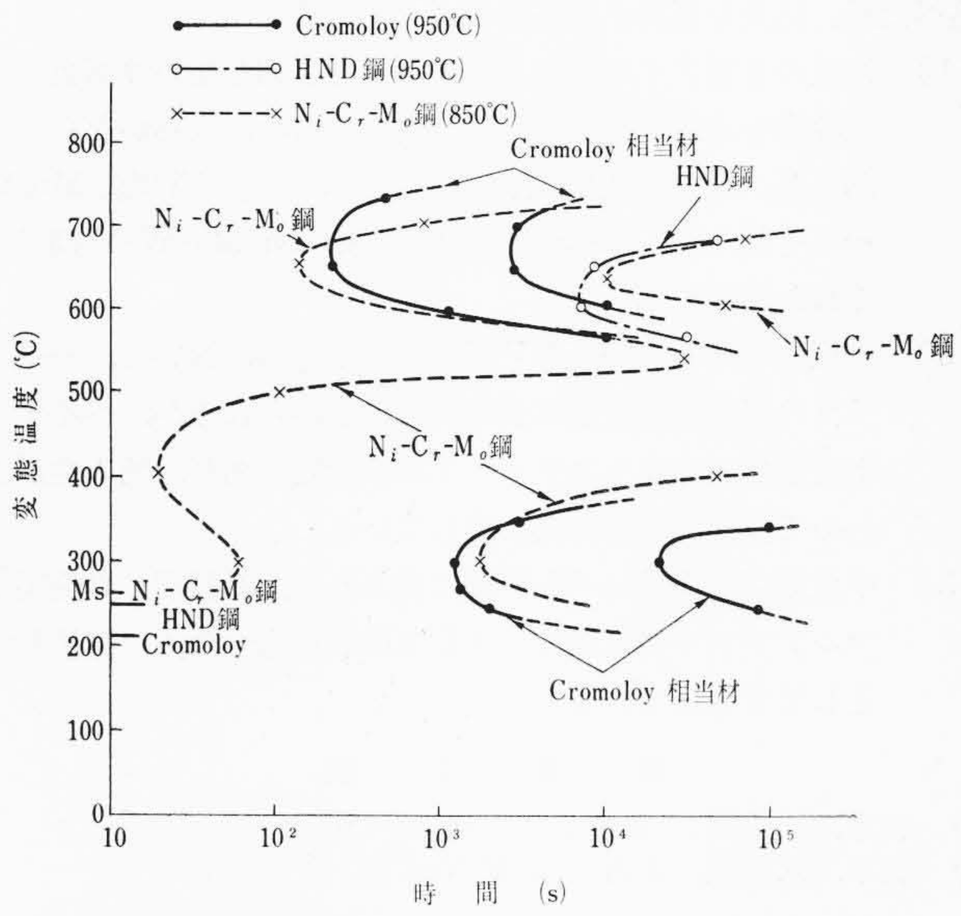
第5表は3鋼種による打抜試験結果を，また**第12図**は試験後の刃面外観を示す。これによるとCromoloy 相当材はいずれも破損または刃こぼれを生じているが，HND 鋼では 147 回打抜いても刃面は全然異常なく，また4隅の摩耗も少なく，さらに打抜き可能な刃面形状を示している。一方 Ni-Cr-Mo 鋼は H 寸法が 4 mm で破損し，6 および 8 mm で破損はないが，147 回打抜き後の4隅の摩耗は HND 鋼に比較して大である。

以上のことからCromoloy 相当材はこの種厚鋼板打抜型材としてはもろく，適しないようであり，またNi-Cr-Mo鋼は耐摩耗性の点で劣り，HND 鋼が最もすぐれた打抜性能を有することがわかる。

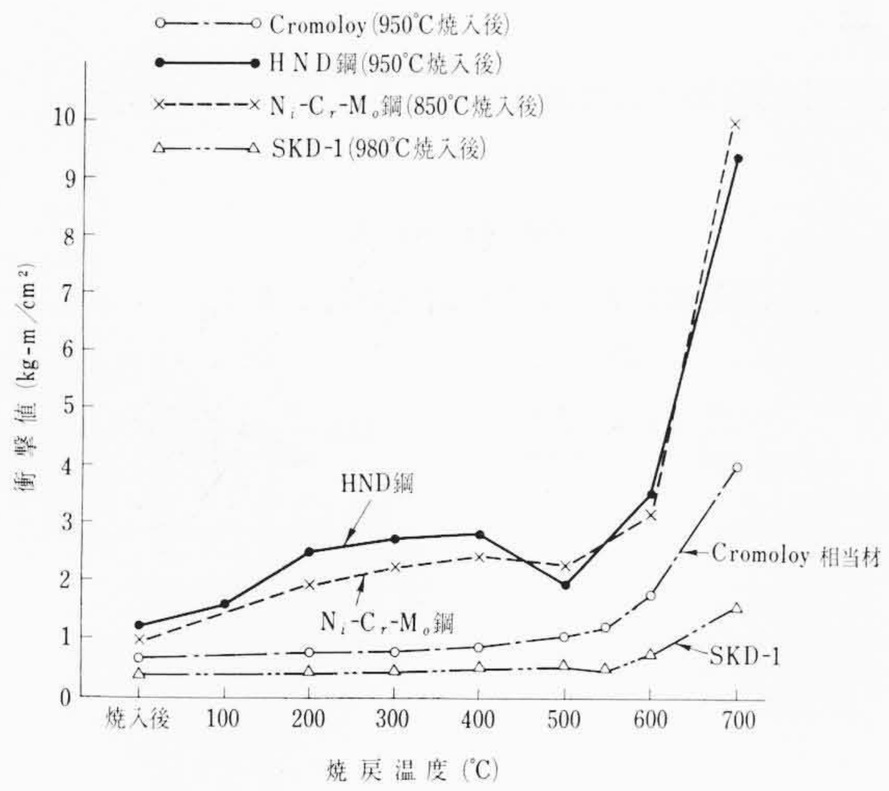
3. 2. 2　焼入性および靭性の比較

第13図は3鋼種の焼入温度とかたさとの関係を，また**第14図**は焼戻しによるかたさの変化を示す。焼入かたさはCromoloy 相当材，HND 鋼とも 950℃ 焼入れで最高の焼入かたさを示すが，HND 鋼のほうがそのかたさは低い。次に焼戻しによる軟化抵抗はCromoloy 相当材，HND 鋼とも Ni-Cr-Mo 鋼よりも大で，500℃ 付近までかたさの低下は少ない。これはCr が5% 含まれているため，焼戻抵抗が大きいためである。

次に**第15図**は3鋼種の恒温変態図を示す。すなわち，Ni-Cr-Mo 鋼はパーライトおよびベイナイト変態を有するが，Cromoloy 相当材および HND 鋼はともに 5 Cr 系であるので 400～500℃ にオーステナイトの準安定な領域が存在する。また特に HND 鋼はパーライト変態がわずかに認められる程度でベイナイト変態域は存在せず，焼入性がきわめて大であることを示している。これはHND 鋼は C 量が低く，残留炭化物量が少ないことおよび焼入性を増す Ni を含有することによるためである。



第 15 図　Cromoloy 相当材，HND 鋼および Ni–Cr–Mo 鋼の恒温変態図の比較



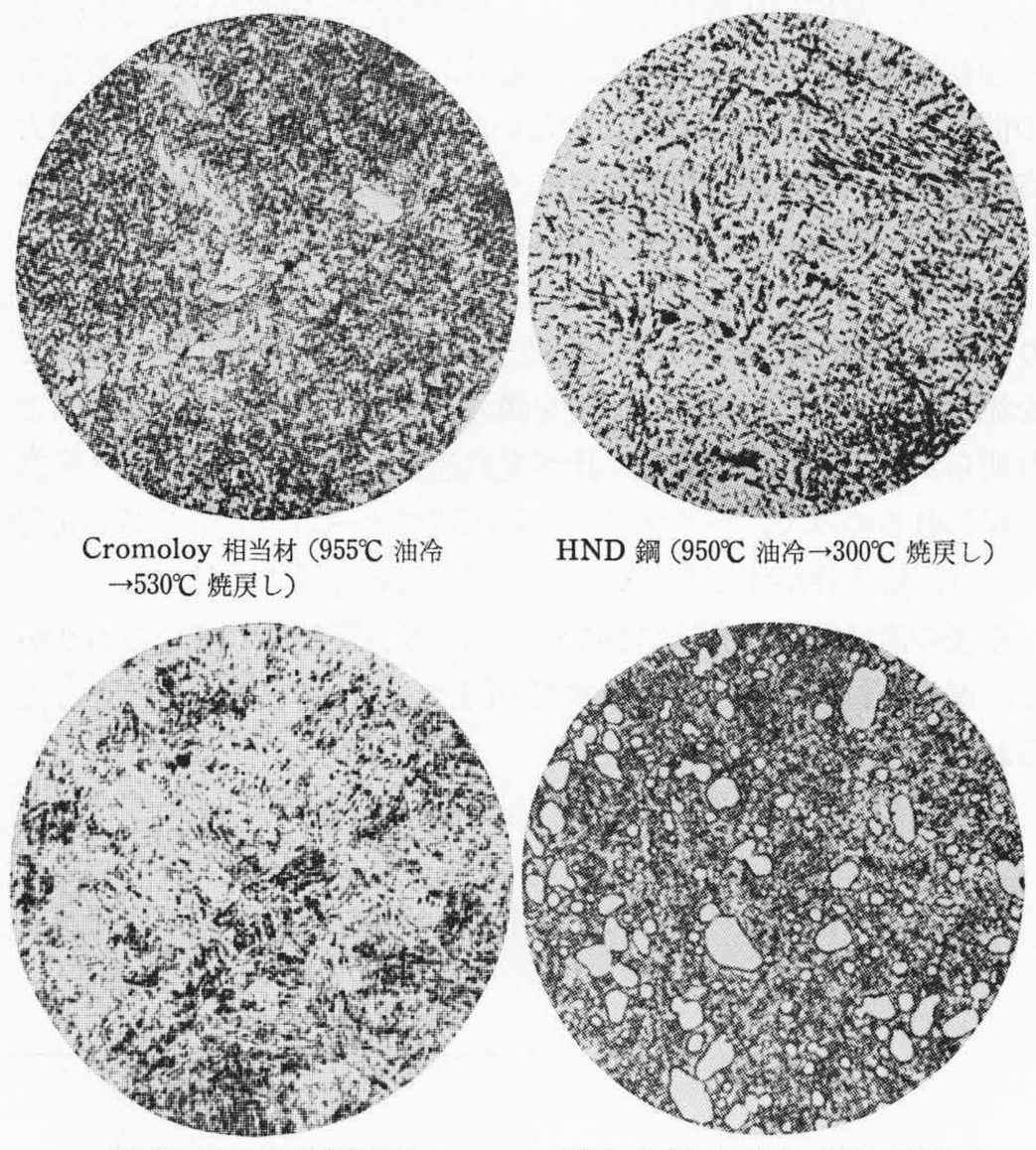
第 16 図　各鋼種の焼戻温度と衝撃値との関係

次に**第 16 図**は 2mm V ノッチ衝撃試験法による焼戻温度と衝撃値との関係である。図には比較のため SKD–1 の結果も示した。図から明らかなように Ni–Cr–Mo 鋼および HND 鋼は 300～400℃ 焼戻しで 2.5～3 kg-m/cm² の衝撃値を示すのに反し，Cromoloy 相当材および SKD–1 はいずれも衝撃値は低く，焼戻しによる向上は望めないことがわかる。すなわち，これら靭性の相違が厚鋼板打抜型材の寿命を大きく左右しているものと推定される。

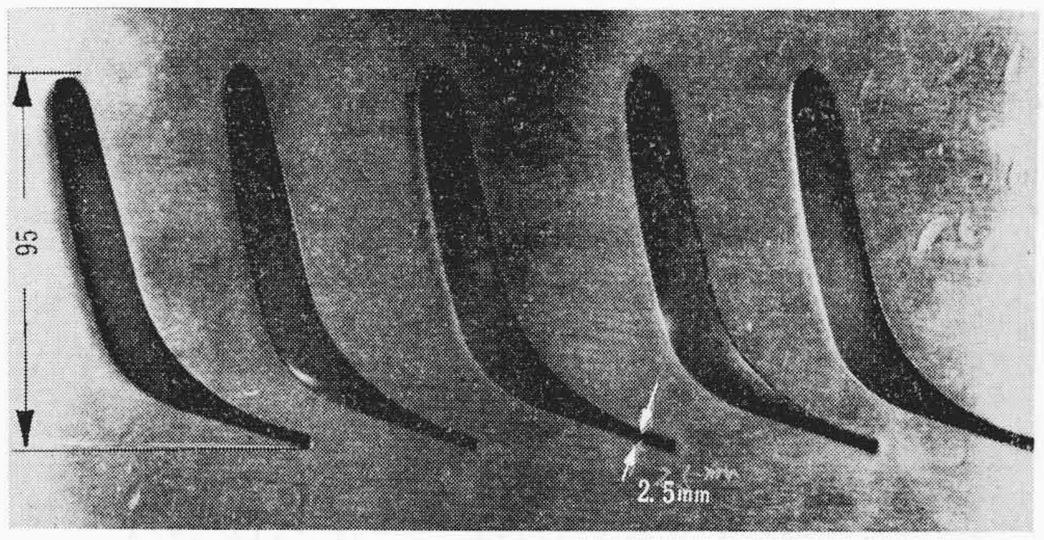
以上のことから HND 鋼は 950～1,000℃ 油冷後 300～350℃ の焼戻しが最適であることがわかる。ちなみに**第 17 図**は 4 鋼種の Rc 55 前後に調質した後の顕微鏡組織を示す。HND 鋼および Ni–Cr–Mo 鋼は，ともに焼戻しマルテンサイト組織であるに対し，Cromoloy 相当材および SKD–1 の基地はソルバイト組織を示し，ともに塊状の Cr 炭化物が存在する。

4. 応　用　例

近年火力タービン発電機は大容量化しているが，これに伴ってタービン，ダイヤフラムも大形化し，ノズル翼およびこれを支持するスペーサなどもしだいに厚鋼板耐熱鋼が使用されるようになった。スペーサにはノズル翼をそう入するため，翼と同一形状の打抜加工をする。一般に翼の形状はタービンの大容量化に伴い角度が急傾斜となり，形状が複雑化し，打抜加工が一段と困難になり高度の技術を必要とする。一例として**第 18 図**に 6.8mm 厚さの 13 Cr 鋼板を打抜いたときの打抜孔の形状を示す。図が示すように厚い特殊鋼板にもかかわらず先端部の細い部分も異常なく連続して打抜くことができた。



第 17 図　各鋼種の顕微鏡組織 (×360)



第 18 図　打　抜　孔　の　形　状　例

従来，これら打抜型材には高炭素高 Cr 系のダイス鋼が用いられていたが，刃先の破損やはく離事故がひん発し作業工程上のあい路となっていた。著者らは本打型材に中炭素 5 Cr 系の HND 鋼を開発し，実用化を図った結果，きわめて良好な打抜性能を示し，厚鋼板打抜型材としてすぐれた特性を有することが立証された。またこれらのほかに各種冷間押出用型材，せん断刃物および特殊形状のドライバ材などに利用されている。

5. 結 果 の 検 討

現在市販されている高炭素高 Cr 系冷間ダイス鋼あるいは各種抜型鋼は，Rc 60 以上に調質して使用されるのが普通である。これらは耐衝撃性よりも耐摩耗性の良好な鋼種であるが，厚鋼板の打抜きのようにすぐれた耐衝撃性が要求される場合には，熱処理後のかたさを低くして靭性をもたせることも考えられるが，単に Rc 55 程度にかたさを下げても靭性は改善されず(1)，本実験でもそれが立証さ

れている。厚板打抜型材としては多少耐摩耗性を犠牲にしても，より強靭性のすぐれた鋼種を選ぶ必要がある。本報にかかげた著者らの開発したHND鋼はC量は少ないがNi添加により焼入性を増大させている。また焼入かたさは低く，低温焼戻しにより焼戻しマルテンサイト組織にして使用するのが特長である。一方，靭性の点ではC量を少なくし，Niを添加してマルテンサイトの靭性向上を図り，さらにCr量を多くして強度を上げるとともにW，Mo，Vなどを添加して一段と耐摩耗の改善を図っている。本鋼の恒温変態図より明らかなように，他鋼種に比べ変態速度が遅く，パーライト変態が現われるのみで，ベイナイト変態区域でオーステナイトが準安定であり，焼入性がすぐれているから現場焼入作業も容易である。

今後の産業機械の発達に伴い作業改善が要望されているおりから，厚鋼板打抜型鋼としての本鋼の開発は大いに役だつものと考えられる。

6. 結　　言

以上，厚板打抜型材として中炭素Cr-Ni-Mo-W-V鋼の開発過程を述べたが，結果を要約すれば次のようである。

（1） 市販の各種ダイス鋼および中炭素合金鋼を用い厚鋼板の打抜性能を比較した結果，高炭素系のものはもろいきらいがあるが，概して中炭素合金鋼，特にCr 5%，Ni 2%，Mo，Wそれぞれ1%，V 0.5%添加したCr-Ni-Mo-W-V鋼がすぐれた結果を示した。

（2） 中炭素Cr-Ni-Mo-W-V鋼の恒温変態図において，パーライトの変態開始曲線は長時間側に認められるが，ベイナイト変態域ではオーステナイトが準安定であり，焼入性がきわめて良好で現場作業に適している。

（3） 中炭素Cr-Ni-Mo-W-V鋼は焼入れ後，低温戻しの焼戻しマルテンサイト組織で，十分な靭性をもつため，打抜型鋼としてすぐれている。

参　考　文　献

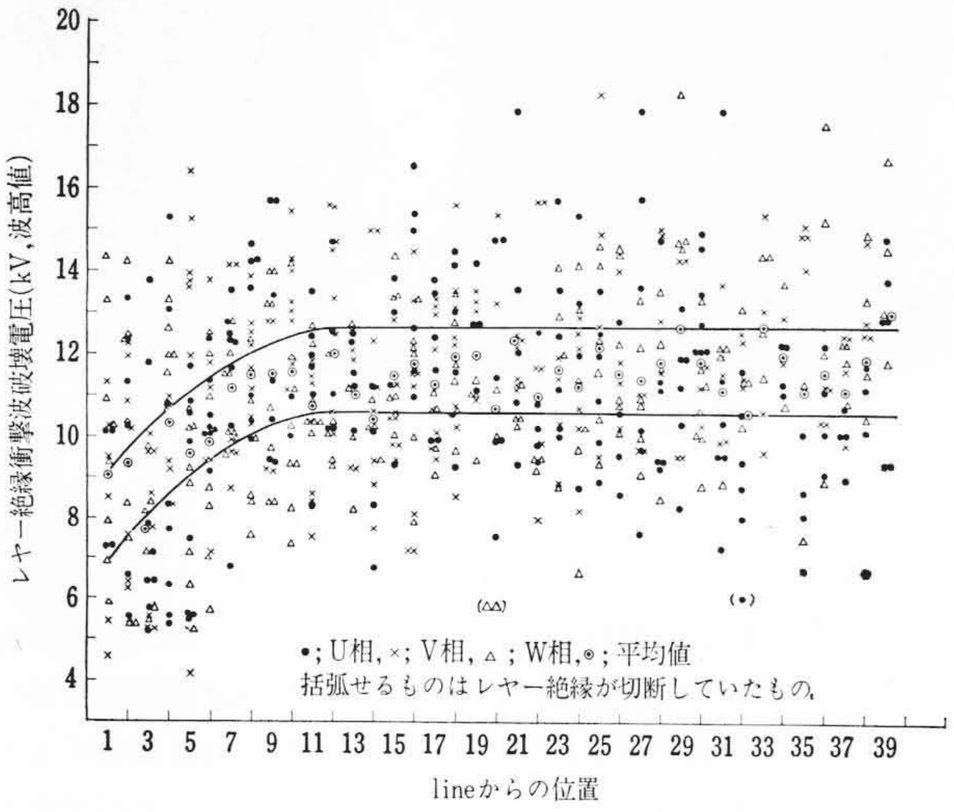
（1） 根本，八重樫： 特許公告，昭 39-11054
（2） 根本，八重樫，大内： 金属 Vol. 32，9，10 号

訂　　正

さきに発行いたしました，本誌 別冊論文集「日立製作所日立研究所創立30周年記念論文集」および Vol. 46，No. 8 に下記の誤りがありました。おわびするとともに訂正いたします。

「日立研究所創立30周年記念論文集」

• 56頁　第1図を下記と入れかえてください。



• 61頁　第16図写真説明のうち，右側二段目を次のように訂正いたします。

誤	正
(最大値 75 V_P)	(最大値 115 V_P)

「Vol. 46, No. 8」

• 1296頁　(15) 式を次のように訂正いたします。

誤	正
$\frac{a}{\omega l}=\tan\frac{A\alpha}{V_T\omega}$	$\tan\frac{a}{\omega l}=\frac{A\alpha}{V_T\omega}$