

川崎製鉄技報

KAWASAKI STEEL GIHO

Vol.33 (2001) No.4

自動車用鋼管・鉄粉特集号

焼結後の熱処理が省略可能な高強度焼結部品用 Cr 系合金鋼粉

Cr Alloyed Steel Powders for High Strength Sintered Parts without Heat-treatment after Sintering

宇波 繁 (Unami, S.) 上ノ菌 聡 (Uenosono, S.) 太田 純一 (Ohta, J.)

要旨：

焼結後の熱処理を省略しても高強度が得られる Cr 系合金鋼粉を開発した。KIP 30CRV(3Cr-0.3Mo-0.3V)焼結体は、引張強さ 1150MPa、回転曲げ疲労強度 310MPa が得られ、KIP シグマロイ 415S(4Ni-1.5Cu-0.5Mo)焼結体より、高い引張強さ、疲れ強さ、優れた耐摩耗性が得られた。これは、高い焼入性によってマルテンサイトに変態すること起因する。KIP 103V (1Cr-0.3Mo-0.3V) 焼結体は、KIP 30CRV 焼結体に比べ、低い引張強さ、硬さにもかかわらず疲れ強さ、耐摩耗性はほぼ同等であった。KIP 103V 焼結体の高密度が疲労強度を向上させ、マルテンサイトより耐摩耗性の良好な微細パーライトが耐摩耗性を向上させる。

Synopsis：

New alloyed steel powders containing 3 or 1% Cr have been developed for the high strength sintered parts without heat-treatment after sintering. As-sintered compacts made from KIP 30CRV (3Cr-0.3Mo-0.3V) prealloyed steel powder have higher tensile strength of 1150MPa, rotating bending fatigue strength of 310MPa and better wear resistance than those made from KIP SIGMALOY 415S (4Ni-1.5Cu-0.5Mo) partially alloyed steel powder. These superior characteristics are attributed to the martensite realized high hardenability of the compacts. In spite of lower tensile strength and hardness, the fatigue strength and wear resistance of the as-sintered compact made from KIP 103V (1Cr-0.3Mo-0.3V) prealloyed steel powder were almost equal to those of KIP 30CRV, because the higher density improved fatigue strength and the fine pearlite had better wear resistance than martensite.

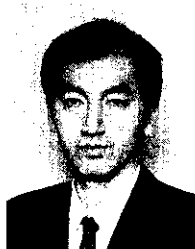
(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

焼結後の熱処理が省略可能な高強度焼結部品用 Cr 系合金鋼粉*

川崎製鉄技報
33 (2001) 4, 180-183

Cr Alloyed Steel Powders for High Strength Sintered Parts without Heat-treatment after Sintering



宇波 繁

Shigeru Unami

技術研究所
鉄粉・磁性材研究部門
主任研究員(主席掛長)



上ノ園 聡

Satoshi Uenosono

技術研究所
鉄粉・磁性材研究部門
主任研究員(課長)



太田 純一

Junichi Ohta

千葉製鉄所 鉄粉・溶
材部 鉄粉・溶材技術
室 主査(課長)

要旨

焼結後の熱処理を省略しても高強度が得られる Cr 系合金鋼粉を開発した。KIP 30CRV (3Cr-0.3Mo-0.3V) 焼結体は、引張強さ 1150MPa、回転曲げ疲労強度 310 MPa が得られ、KIP シグマロイ 415S (4Ni-1.5Cu-0.5Mo) 焼結体より、高い引張強さ、疲れ強さ、優れた耐摩耗性が得られた。これは、高い焼入性によってマルテンサイトに変態することに起因する。KIP 103V (1Cr-0.3Mo-0.3V) 焼結体は、KIP 30CRV 焼結体に比べ、低い引張強さ、硬さにもかかわらず疲れ強さ、耐摩耗性はほぼ同等であった。KIP 103V 焼結体の高密度が疲労強度を向上させ、マルテンサイトより耐摩耗性の良好な微細パーライトが耐摩耗性を向上させる。

Synopsis:

New alloyed steel powders containing 3 or 1% Cr have been developed for the high strength sintered parts without heat-treatment after sintering. As-sintered compacts made from KIP 30CRV (3Cr-0.3Mo-0.3V) prealloyed steel powder have higher tensile strength of 1150 MPa, rotating bending fatigue strength of 310 MPa and better wear resistance than those made from KIP SIGMALOY 415S (4Ni-1.5Cu-0.5Mo) partially alloyed steel powder. These superior characteristics are attributed to the martensite realized high hardenability of the compacts. In spite of lower tensile strength and hardness, the fatigue strength and wear resistance of the as-sintered compact made from KIP 103V (1Cr-0.3Mo-0.3V) prealloyed steel powder were almost equal to those of KIP 30CRV, because the higher density improved fatigue strength and the fine pearlite had better wear resistance than martensite.

1 緒 言

鉄系焼結材料の主要用途である自動車部品の高性能・小型化が指向され、種々の高強度焼結材料用の合金鋼粉の開発が進められている¹⁾。さらに、安全性や運転性能の向上にともない、オイルポンプなど耐摩耗性ととも強度の必要な部品に適した焼結材料が要求されている。従来、自動車部品用の溶製鋼材では耐摩耗や強度の必要な個所には Cr 系の鋼材が浸炭焼入れ処理され多く用いられていた。一方、粉末冶金では、Cr は酸素との親和力が強く、水アトマイズ法で Cr を含有する鋼粉を製造する場合、通常の水素ガス還元では低酸素で圧縮性の高いプレアロイ鋼粉を製造するのが難しいため、Ni 系の部分合金化鋼粉がこのような用途に用いられてきた。しかし、焼結、熱処理後にも Ni が高濃度の軟らかいオーステナイト相が残留するため、不十分な耐摩耗性しか得られなかった。

さらに、最近では、部品製造プロセスの低コスト化を図るため、焼結後の熱処理を省略することが要求されている。焼結後の熱処理

を行わない非調質での高強度化には、主に Ni などの合金成分を多量に使用することで対応されていた²⁾。近年、焼結後の冷却速度を高める方法が検討され始めている³⁾が、この方法では、冷却速度の高い焼結設備が新たに必要となるため、まだ広く用いられるまでに至っていない。また、Ni 粉が規制^{4,5)}される可能性もあり、最近、Ni を含まない合金鋼粉が注目されている。

川崎製鉄では、水アトマイズ-真空還元法^{6,7)}による低酸素の圧縮性の高い Cr 系プレアロイ鋼粉を用い、冷却速度の高い焼結設備を用いずに、従来の焼結設備の冷却速度 (5-30°C/min) で、高強度を得る方法を検討した。粉末冶金における非調質での高強度化には、冷却速度に合わせた合金組成の最適化による焼結体組織の制御が重要と考え、Mn, Mo, V 量の最適化により、焼結後に微細パーライトへの変態と V 炭窒化物の析出によって高強度が得られる KIP 103V (1Cr-0.3Mo-0.3V 鋼粉)を開発した^{8,9)}。しかし、機械的特性に及ぼす Cr 量の影響は十分に調べられていたとは言えなかった。

本報告では、Cr 量の異なる Cr-Mo-V 系鋼粉 (KIP 103V, KIP 30CRV) の熱処理を施さない焼結体の機械的特性 (強度、疲労強度、耐摩耗性) について、高強度焼結部品に広く用いられている Ni 系部分合金化鋼粉 KIP シグマロイ 415S と比較して述べる。

* 平成13年8月8日原稿受付

Table 1 Chemical compositions of powders used

Powder	Chemical composition (mass%)							Alloying method
	C	O	Cr	Mo	V	Ni	Cu	
KIP 103V	0.004	0.148	0.97	0.34	0.25	—	—	Prealloying
KIP 30CRV	0.004	0.164	2.94	0.29	0.28	—	—	Prealloying
KIP SIGMALOY 415S	0.003	0.080	—	0.47	—	4.26	1.65	Partially alloying

Table 2 Characteristics of powders and green compacts

Powder	Particle size distribution (%)							Apparent density (Mg/m ³)	Green density* (Mg/m ³)
	≥ 180 μm	150~180 μm	106~150 μm	75~106 μm	63~75 μm	45~63 μm	≤ 45 μm		
KIP 103V	7.7	13.9	21.0	21.3	8.8	15.5	11.8	2.82	7.13
KIP 30CRV	2.2	8.4	24.2	25.0	8.2	11.8	20.1	2.69	7.00
KIP SIGMALOY 415S	0.4	10.7	20.8	22.9	9.7	15.0	20.5	2.98	7.20

*Zinc stearate addition: 1 mass%
Compacting pressure: 686 MPa

2 実験方法

供試鋼粉には水アトマイズ・真空還元法で製造した Cr 系合金鋼粉 KIP 103V, KIP 30CRV および純鉄粉に Ni, Cu, Mo が拡散付着した Ni 系部分合金化鋼粉 KIP シグマロイ 415S を用いた。化学組成、粉体特性を Table 1, 2 に示す。これらの供試鋼粉に、焼結後に最も引張強度の高い C 量になるように、KIP 103V, KIP 30CRV には黒鉛粉を 0.9mass%, KIP シグマロイ 415S には黒鉛粉を 0.6mass% 添加し、潤滑剤としてステアリン酸亜鉛粉を 1mass% 添加し、490 から 686 MPa の圧力で成形した。次に、N₂-10vol%H₂ 雰囲気中、1250°C、60 min の条件で焼結した。冷却速度は、約 20°C/min であった。これらの焼結体について、引張試験、衝撃試験、硬さ試験、回転曲げ疲労試験および耐摩耗試験を実施した。引張試験には平行部径 5 mm、長さ 15 mm の小型丸棒試験片を用い、衝撃試験には厚さ 10 mm、幅 10 mm、長さ 55 mm の切欠なしシャルピー試験片を用い、室温で実施した。硬さは、ロックウェル硬度の B スケールで測定した。また、回転曲げ疲労試験は、小野式回転曲げ疲労試験機により行い、平行部径 8 mm、長さ 15.4 mm の平滑丸棒試験片を用いた。耐久限度は繰返し数 10⁷ 回における破壊応力として求めた。また、摩耗試験は、大越式摩耗試験により行い、摩耗環境は、大気中でオイルを 1 滴/s の条件で滴下し、摩耗速度は 4.21 m/s、荷重は 124 N、相手材は SUJ-2 とした。

3 実験結果および考察

3.1 焼結密度

成形圧力と焼結密度の関係を Fig. 1 に示す。同じ成形圧力では、103V, 30CRV 焼結体の焼結密度は、415S 焼結体の値より低かった。また、Cr 系合金鋼粉の Cr 量を 1% から 3% へ増すと密度が低下した。これらは、103V, 30CRV はプレアロイ鋼粉であるため、鉄中への Cr, Mo および V の固溶硬化量に応じて鋼粉が硬くなり、鋼粉の圧縮性が低くなることと、415S では拡散付着している Ni 粉が焼結を促進するため焼結時に大きく収縮することが原因と考えられる。

3.2 引張強さ

焼結体の引張強さと焼結密度の関係を Fig. 2 に示す。いずれの焼結体も密度が高くなるにしたがい引張強さも高くなった。30CRV

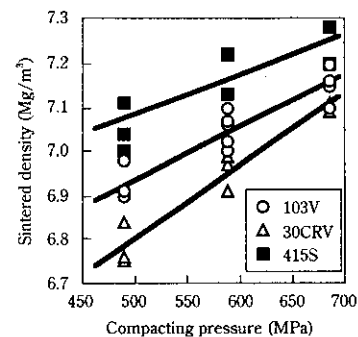


Fig. 1 Relationship between compacting pressure and density for sintered compacts made from Cr prealloyed and Ni partially alloyed steel powders

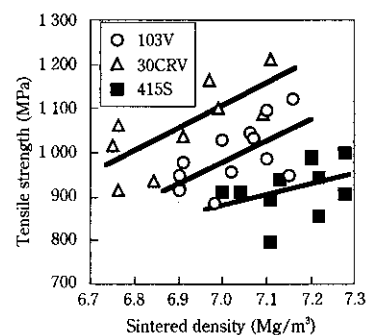


Fig. 2 Relationship between tensile strength and density for sintered compacts made from Cr prealloyed and Ni partially alloyed steel powders

焼結体は、得られた密度が 103V 焼結体や 415S 焼結体に比べ低いにもかかわらず、最も高い引張強さが得られた。30CRV 焼結体の組織は、Photo 1, 2 のように、微細な下部ベイナイトとマルテンサイトの混合組織になっていた。これは、Fig. 3 の CCT に示すように、30CRV 焼結体の焼入性が高く、通常の焼結炉の冷却速度でもマルテンサイトが生じるため、高強度が得られたと考えられる。Photo 1 のように、415S 焼結体にもマルテンサイトが生成するが、焼結時に Ni や Mo などの合金が均一にはならないため、合金が低濃度の部分では焼入性が低下して粗大なベイナイトやパーライトが生じ、また Ni が高濃度の部分では軟らかい残留オーステナイトが生じているため、高強度が得られなかったと考えられる。

また、103V 焼結体は 415S 焼結体より高い引張強さが得られた。

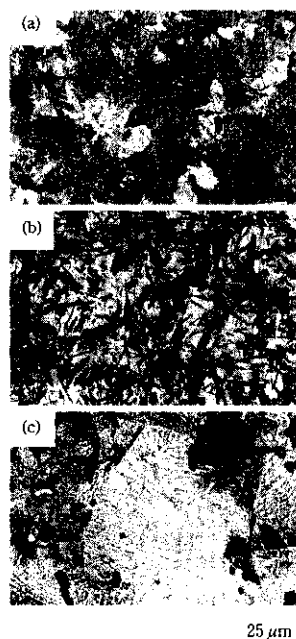


Photo 1 Optical micrographs of the sintered compacts made from (a) KIP 103V, (b) KIP 30CRV and (c) KIP SIGMALOY 415S

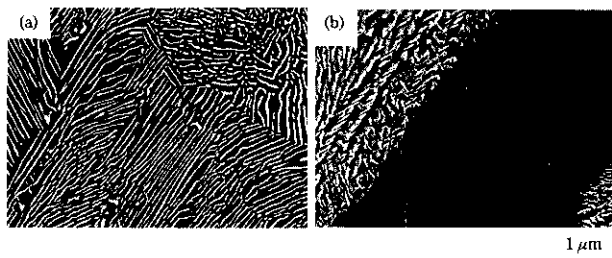


Photo 2 SEM micrographs of the sintered compacts made from (a) KIP 103V and (b) KIP 30CRV

103V焼結体の組織は、Photo 1, 2 に示すように、均一で微細なパーライトになっていた。これは、Fig. 4 の 103V 焼結体の CCT に示すように、通常の焼結炉の冷却速度で粗大な上部ベイナイトが生成しないように組成を最適化している^{8,9)} ためである。

3.3 衝撃値

焼結体の衝撃値と焼結密度の関係を Fig. 5 に示す。いずれの焼結体も密度が高くなるにしたがい衝撃値も高くなった。103V, 30CRV 焼結体は同じ密度でも 415S 焼結体に比べ低い衝撃値となった。これは、415S は Ni 粉を拡散付着させているため、焼結後も靱性の高い Ni 濃度の高い相が残ることと、415S 焼結体の炭素量が 103V, 30CRV 焼結体に比べ少ないためと考えられる。

3.4 硬さ

焼結体の硬さと焼結密度の関係を Fig. 6 に示す。引張強さと同様の傾向を示し、30CRV 焼結体が 103V および 415S 焼結体より高い硬さが得られた。

3.5 疲労特性

回転曲げ疲労試験の結果を Fig. 7 に示す。30CRV および 103V 焼結体はほぼ同等の耐久限度（それぞれ 310, 300 MPa）を示し、

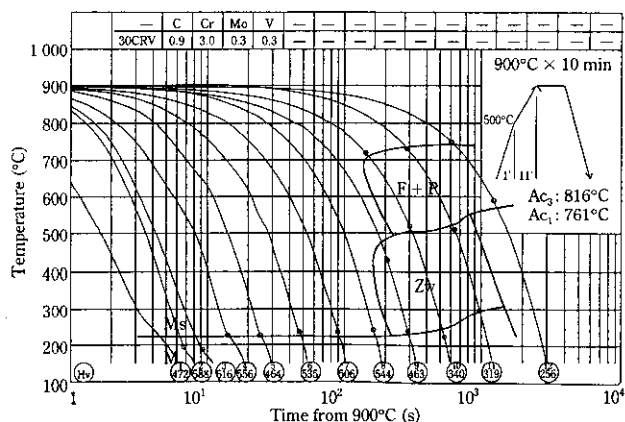


Fig. 3 CCT diagram of sintered compacts made from 3% Cr pre-alloyed steel powder (KIP 30CRV)

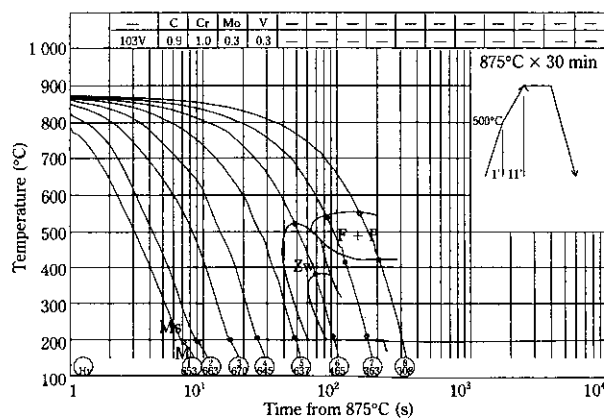


Fig. 4 CCT diagram of sintered compacts made from 1% Cr pre-alloyed steel powder (KIP 103V)

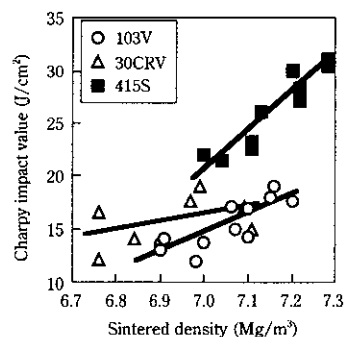


Fig. 5 Relationship between impact value and density for sintered compacts made from Cr prealloyed and Ni partially alloyed steel powders

415S 焼結体 (230 MPa) より高かった。また、30CRV および 103V 焼結体の耐久限度比はそれぞれ 0.31, 0.33 であり、415S 焼結体の 0.24 より高かった。この原因としては、103V, 30CRV はプレアロイ鋼粉であるため、Photo 1, 2 に示したように、415S 焼結体の合金濃度の低い部分に生じる粗大なベイナイトのような低強度の相が生じないためと考えられる。また、103V 焼結体の方が 30CRV 焼結体に比べ耐久限度比が高かった原因としては、103V 焼結体の方が密度が高いためと 30CRV 焼結体の硬さが高いために切欠き感受性が高いためと考えられる。

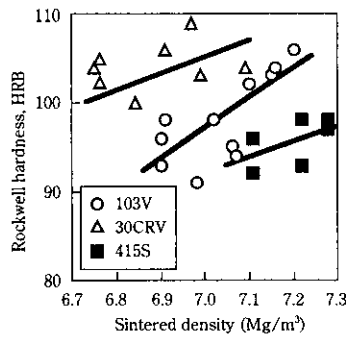


Fig. 6 Relationship between Rockwell hardness and density for sintered compacts made from Cr prealloyed and Ni partially alloyed steel powders

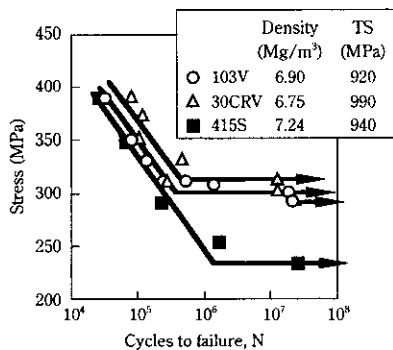


Fig. 7 Rotating bending fatigue strength of the sintered compacts made from Cr prealloyed and Ni partially alloyed steel powders

3.6 耐摩耗性

耐摩耗試験の結果を Fig. 8 に示す。103V, 30CRV 焼結体の方が 415S 焼結体より少ない摩耗量であり良好な耐摩耗性を示した。これは、103V, 30CRV はプレアロイ鋼粉であるため、Photo 1, 2 に示したように、415S 焼結体に見られるような軟らかい残留オーステナイト相がなく、均一な組織になっているためである。

また、103V 焼結体の方が 30CRV 焼結体より硬さが低いにもかかわらず同等の耐摩耗性を示した。これは、103V 焼結体で得られている微細パーライトが耐摩耗性の必要なレール鋼にも適用されてい

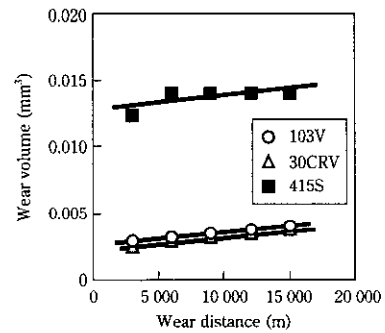


Fig. 8 Relationship between wear volume and wear distance for sintered compacts made from Cr prealloyed and Ni partially alloyed steel powders

るように、微細パーライトがマルテンサイトと比較しても耐摩耗性が良い^{10,11)} ためである。

4 結 言

Cr 量の異なる Cr-Mo-V 系鋼粉 (KIP 103V (1Cr-0.3Mo-0.3V), KIP 30CRV (3Cr-0.3Mo-0.3V)) の焼結後の熱処理を省略した焼結体の機械的特性について、Ni 系部分合金化鋼粉 KIP シグマロイ 415S (4Ni-1.5Cu-0.5Mo) と比較して調べた。得られた主な結果を以下に示す。

- (1) KIP 30CRV 焼結体は、686 MPa 成形、1250°C 焼結で、引張強さ 1150 MPa、回転曲げ疲労強度 310 MPa が得られた。
- (2) KIP 30CRV 焼結体は、KIP シグマロイ 415S 焼結体より低い密度にもかかわらず、高い引張強さ、疲れ強さが得られた。これは、KIP 30CRV 焼結体の高い焼入性によって焼結後の通常の冷却速度 ($\sim 30^\circ\text{C}/\text{min}$) でも微細な下部ベイナイトとマルテンサイトに変態することに起因する。
- (3) KIP 103V 焼結体は、686 MPa 成形、1250°C 焼結で、引張強さ 1050 MPa、回転曲げ疲労強度 300 MPa が得られた。
- (4) KIP 103V 焼結体は、KIP 30CRV 焼結体に比べ、引張強さは低い、疲れ強さはほぼ同等であった。これは、KIP 103V 焼結体の高密度と均一な微細パーライトに起因する。
- (5) Cr 系鋼粉 (KIP 103V, KIP 30CRV) 焼結体の耐摩耗性は、KIP シグマロイ 415S 焼結体より優れた耐摩耗性を示した。

参 考 文 献

- 1) B. James and M. J. Koczak: "New Ferrous Powder Metallurgy Alloys an Overview". Proc. of 1993 Powder Metallurgy World Cong. Vol. 1, JSPM, Kyoto (Japan), July (1993), 483
- 2) U. Engstrom and C. Lindberg: "Powders for High Performance PM-Steels". Proc. of 1993 Powder Metallurgy World Cong. Vol. 2, JSPM, Kyoto (Japan), July (1993), 751
- 3) R. J. Causton and J. J. Fulmer: "Sinter Hardening Low-Alloy Steels" Advances in Powder Metallurgy and Particulate Materials Vol. 5, MPIF, San Francisco (USA), June (1992), 17
- 4) EC Directive 67/548/EEC (Classification, Labeling and Packaging of Dangerous Substances)
- 5) EC Directive 88/379/EEC (Classification and Labeling of Dangerous Preparations)
- 6) K. Ogura, R. Okabe, S. Takajo, and Y. Maeda: "Production and Properties of Chromium-Containing Low-Oxygen Steel Powders". Prog. in Powder Metallurgy Vol. 43, MPIF, Dallas (USA), May (1987), 619
- 7) S. Unami and O. Furukimi: "Tensile and Fatigue Strengths for Sintered and Case-hardened Compacts Made from Cr Containing Steel Powder". Proc. of 1993 Powder Metallurgy World Cong. Vol. 2, JSPM, Kyoto (Japan), July (1993), 1108
- 8) 古君 修, 宇波 繁, 上ノ蘭聡, 小倉邦明: 鉄と鋼, **81**(1995), 833
- 9) 宇波 繁, 古君 修, 上ノ蘭聡, 小倉邦明: 粉体および粉末冶金, **43**(1995), 1107
- 10) 田村庸一, 上田正博, 入江利治, 井出哲成, 古川 遵, 村木 誠: 日本鋼管技報, **79**(1978), 335
- 11) 杉野和男, 榊本弘毅, 西田新一, 浦島親行, 影山英明, 服部正善: 製鉄研究, **303**(1980), 13566