



高強度ステンレス鋼線の開発

泉田 寛・河部 望・高村 伸 栄
森田 浩嗣・村井 照 幸

Development of High-tensile-strength Stainless Steel Wire — by Hiromu Izumida, Nozomu Kawabe, Shinei Takamura, Hirotsugu Morita and Teruyuki Murai — Austenitic stainless steel wire, which consists of a stable austenitic matrix, provides resistance to corrosion and heat and is widely used for springs. In the recent technological trend toward environmental preservation, higher tensile property has been requested for this wire in addition to the above mentioned two basic properties of stainless steel. It is considered to be difficult for conventional austenitic stainless wire to simultaneously attain high tensile strength, corrosion resistance, and heat resistance, in spite of the strong market demand. Therefore, low nickel content high-tensile-strength stainless steel wires like SUS301 and SUS631J1 have been commonly used. As a result of the instability of austenitic matrix, above high strength wires do not offer enough resistance against corrosion and heat. Sumitomo (SEI) Steel Wire Corp. has developed a new stainless steel wire to respond to the market demand. This high strength, high-corrosion-and-heat-resistant alloy wire has been developed by the integration of wire drawing technology and heat treatment technology and the addition of small amount of nitrogen into conventional SUS304 steel, for improving the stability of austenitic matrix. The developed stainless steel wire shows excellent tensile strength and resistance to corrosion and heat, and varieties of application can be expected.

1. 緒 言

ステンレス鋼線の中でも、SUS304に代表される、オーステナイト系ステンレス鋼線は母相であるオーステナイト相の安定性を活かし、文字通り錆びない特性を必要とする耐食用途、高温での高い強度を必要とする耐熱用途に広く用いられている。具体的には耐食性が要求される部位に用いられる家電小物ばね、シャンプーやリンスなどに用いられるポンプばね、自動車の排気系に用いられる耐熱ばねやメッシュなど、その使用形態は様々である。

近年、自動車の排ガス低減技術に関連した更なる耐熱性（高温強度、高温耐へたり性）向上や省スペース化に依る高強度化、そしてピアノ線ばねの耐食処理（六価クロメート処理に代表されるクロム酸関連の耐食処理）の脱六価クロム化によるステンレス材料適用への流れを受け、高強度と高耐食性及び高耐熱性の両立が求められつつある。

従来、ステンレス鋼線において高強度と高耐食性及び高耐熱性の両立は強いニーズがありながら困難と考えられており、一般には高強度材 SUS301 や SUS631J1 が適応されていた。これらはNi量を低下させ、母相（オーステナイト相）の安定性を下げた材料である。それによって、伸線加工による硬度の高い加工誘起マルテンサイトを生成し⁽¹⁾、更に後者は時効熱処理によって金属間化合物を析出させることで高い強度を達成している。このような処理は耐食性や耐熱性の拠りどころを失っている点で特性の両立とは言い難い。またばねの耐疲労性に関しては加工誘起マルテンサイ

トの存在が有効であるか、有害であるか、未だ結論が出ていないという不確定要素も有している。^{(2)~(4)}

当社は、汎用性に優れる SUS304 に窒素添加を行い、母相の安定性を高めた上に、伸線加工技術と熱処理を組み合わせることによって、この両立に成功した。本報告では、高強度ステンレス鋼線開発材の開発コンセプトとばね特性を中心とした基本特性について報告する。

2. 開発コンセプト

2-1 化学成分 図1に鋼中への添加元素の0.2%耐力の向上への影響を示す⁽⁵⁾。図を見て明らかなようにSi、

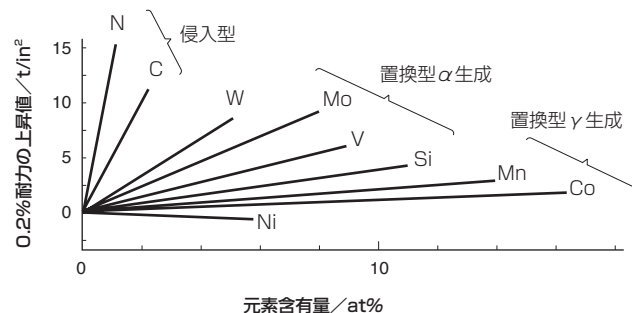


図1 Fe-Cr-Niオーステナイトの0.2%耐力に及ぼす合金元素固溶の影響

Moなどの置換型で固溶するフェライト生成元素と比較して、C、Nなどのオーステナイト生成元素は侵入型で固溶し、大きく0.2%耐力を向上させる。開発材及び従来ステンレス鋼線の化学成分を表1に示す。開発材はコスト高を抑制するため汎用材SUS304をベースとし、オーステナイト生成元素Nを添加することで母相の強化及び安定化を行っている。更にSi、Moといった耐食性を向上させるフェライト生成元素を添加することで固溶強化を行っている。

表1 開発材及び従来ステンレス鋼の化学成分 (mass%)

	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Mo	Al	N
開発材	0.07	0.9	1.7	18.8	9.5	0.2	1.0	—	0.2
SUS304	0.07	0.3	1.2	18.3	8.6	0.3	—	—	—
SUS631J1	0.08	0.3	0.8	16.3	8.1	0.1	—	1.2	—

2-2 熱処理 N添加による強化を更に促進させるため、開発材はばね加工後の加工ひずみ除去を目的とした低温焼きなまし温度の高温化を実施した。図2は線径0.55mmの開発材及び従来ステンレス鋼の時効（低温焼きなまし）による引張強さ変化を示したものである。時効温度を一般的なばね加工後の低温焼きなまし時間である30分としたとき、引張強さのピークは、歪時効による硬化を示すSUS304は370℃付近、金属間化合物NiAlを析出するSUS631J1は450℃付近であるのに対し、開発材は更に高い500℃付近でピークを示す。また引張強さの増加量は、SUS304よりも大きく、SUS631J1と同等以上の400MPa程度となっている。これは開発材の化学成分に起因するものと考えられる。開発材はNを多く含むため、伸線加工によって生じた転位を固着するコトレル雰囲気形成を起こしやすくなっていることや、Moの存在によって、村山らによって報告されているMo-Nクラスターの形成が起こっている⁽⁶⁾ものと推測できる。そこで開発材の低温焼きなまし温度は500℃×30分と

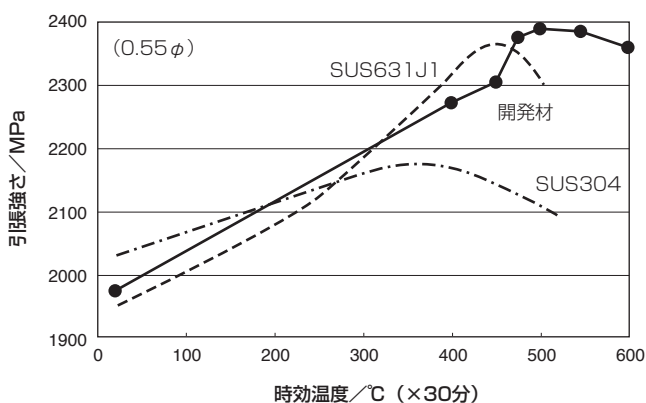


図2 開発材及び従来ステンレス鋼の時効による引張強さ変化

設定した。後述の開発材の特性はいずれも500℃×30分の低温焼きなましを実施しており、比較材であるSUS304、SUS316は400℃×30分、SUS631J1は475℃×1時間と、それぞれの推奨条件で低温焼きなましを実施し比較を行っている。

2-3 加工 図3に開発材及び従来ステンレス鋼の時効前後の加工歪と引張強さの関係を示す。開発材の伸線まま (as Drawn) の状態での加工歪と引張強さのグラフの傾きは、加工歪2.0未満でSUS304とほぼ同じであり、SUS631J1と比較して小さい。これは最も相安定性に欠けるSUS631は低加工でも加工誘起マルテンサイトを生成しており、硬化が進行しやすいためであり、このことは伸線加工やばね加工において容易に靱性欠如となりやすいこと、即ちSUS631J1が扱いに極めて注意を要する材料であることを示している。また加工歪2.0以上で、その傾きはSUS304よりも若干小さくなるのが判る。これは加工歪2.0以上でSUS304においても加工誘起マルテンサイトが生じていることに起因する。即ち開発材は大きな加工歪を導入しても、母相オーステナイトが安定していることを示している。

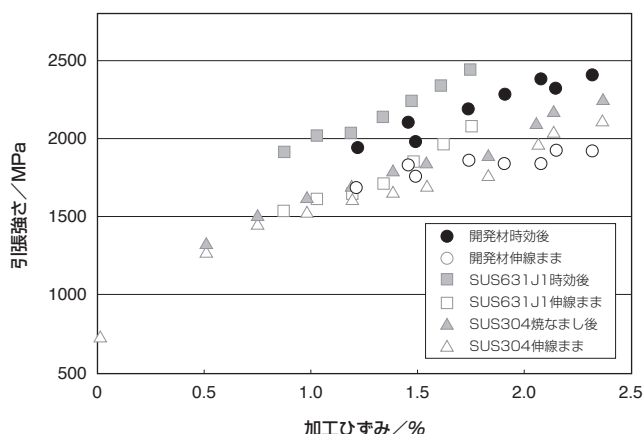


図3 開発材及び従来ステンレス鋼の時効前後の加工歪と引張強さの関係

時効後の引張強さを比較すると、開発材は前述のようにSUS631に匹敵する高い引張強さ向上を示している。この時効による引張強さの向上は加工歪とも関連性があり、加工歪が大きいほど、その向上効果も大きいことが判る。これは開発材の強化機構である歪み時効の促進において、コトレル雰囲気形成に必要な刃状転位の量が増加するためと考えられる。またMo-Nクラスターの形成にも何らかの影響を及ぼしているとも考えられる。

2-4 金属組織 写真1に強加工（伸線加工度90%）を施した開発材の組織写真を示す。写真は開発材の横断面を研磨後、電解エッチングを施した材料の光学顕微鏡写真である。写真から判るように、強加工を施した後であっても、開発材はオーステナイト単相であり、析出物や第2相の

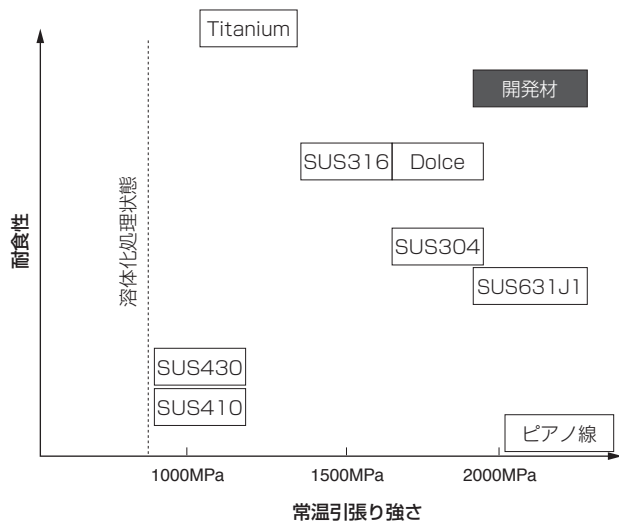


図9 各種材料の引張強さと耐食性の関係



写真3 排気系用ばねの外観

参考文献

- (1) C.Bathias, Pelloux : Trans Met. 4 (1973) 5, p.1265.
- (2) French : Trans ASTM 21 (1933) p.899.
- (3) 小山, 高橋, 弘元, 西村, 山岡, 山下 : ばね論文集, 第25号, P.1-7.
- (4) ばね技術研究会ステンレス鋼線の耐久性に関する研究委員会 : ばね論文集, 第46号 (2001) p.41-65.
- (5) K.J.Irvin et al. : JISI, 199 (1961) , 153.
- (6) 村山, 宝野, 蛭川, 大村, 松岡 : CAMP-ISIJ, Vol.12 (1999) p.458.

執筆者

- 泉田 寛 : エレクトロニクス・材料研究所 金属無機材料技術研究部 主査
 河部 望 : エレクトロニクス・材料研究所 金属無機材料技術研究部 主席
 高村 伸栄 : 住友電エスチールワイヤー(株) 精密ワイヤー技術部 グループ長
 森田 浩嗣 : 住友電エスチールワイヤー(株) 精密ワイヤー技術部 主査
 村井 照幸 : 住友電エスチールワイヤー(株) 精密ワイヤー技術部 技師長