

Recently, excellent abrasion resistance is required for the pipes used in the slurry transporting systems, for example, which transport the coal ash in pulverized coal firing boilers. We have developed abrasion resistant pipe for transportation of slurries named "NK-SL80". In this paper the properties and test results of that pipe are shown. NK-SL80 is a 0.15%C-1.5%Si-1.5%Mn-Fe steel pipe with dual phase microstructure composed with ferrite and martensite. Martensite phase acts as abrasion resistant element and ferrite phase provide workability. This developed pipe contains lower alloying elements, such as C, Mn, than ordinary abrasion resistant pipes, and hence shows excellent field weldability comparing with high carbon type abrasion resistant pipe.

1. はじめに

昭和40年代後半の石油危機以降、エネルギー源の多様化の観点から、発電用電源も原子力をベース電源とし、火力においてはLNG、重油と並んで石炭焚き火力発電が増加している¹⁾。最近の火力発電ボイラは1基で600MWを超えるユニットが主であり、大型石炭焚き火力発電には、微粉炭燃焼方式が採用されている²⁾。原料である石炭の荷揚げ・貯蔵・荏漚回開ダ岡猶」尼 骸傳稿鴉³⁾ 遵塔条蘊航濟耗鋼管業先借Table1 難保在率鋼管の成本鋼管種は重石炭燃焼土木資材に利用されている

³⁾。

0.15C-1.4Si-1.5Mn（以下、NK-SL80と略記する）鋼管は、この種の廃棄物輸送用途を主目的に開発した耐摩耗鋼管である^{4),5)}。耐摩耗性は、基本的には材料の硬さに依存するため、従来の商品には溶接性を犠牲にしたものが多い。本鋼は耐摩耗性を有しながら、溶接性、加工性などの現地での施工性に優れた特徴を有する。ここでは、NK-SL80鋼管の特性および耐摩耗性、溶接性について報告する。

2. NK-SL80 鋼管の概要

2.1 NK-SL80 鋼管の化学成分および機械的性質

スラリー輸送、ごみ輸送システムなどに用いられる鋼管には優れた耐摩耗性が要求される。材料の耐摩耗性は一義

的に材料の硬さで決まることから従来の耐摩耗用鋼管は高炭素(C)を含有させる、もしくはTi、Vなどの合金元素を添加することにより硬さを高めている。この場合は、硬さ値は高くなり、耐摩耗性も向上するが、溶接施工時の予熱温度が高くなるなど溶接性に難を生じ、加工性ととも現地施工性を損ねる。また、合金元素の添加により製造コストは上昇する。これらの課題を解決するために、NK-SL80鋼管は、良好な現地施工性と経済性を兼ね備えた耐

摩耗鋼管業先借Table1 難保在率鋼管の成本鋼管種は重石炭燃焼土木資材に利用されている
1.5%Mn-Fe鋼管であり、フェライトとマルテンサイトの二相組織を有している。マルテンサイト相が加工性耐摩耗性能を保持し、フェライト相が加工性を提供する。本開発鋼管はC、Mnなどの元素をこれら耐摩耗用鋼管より低くしていることから、含有型の耐摩耗用鋼管に比べて、優れた現地性能を示した。
250以上とした。

Table 1 Chemical composition of NK-SL80 steel pipe

Table 2 Mechanical properties of NK-SL80

	Tensile strength N/mm ²	Yield strength N/mm ²	Elongation * %	Hardness Hv
NK-SL80	800	400	10	250

* JIS Z2201 No.5 specimen

2.2 NK-SL80 鋼管の製造工程

NK-SL80 鋼管の製造工程は、Fig.1 に示すように通常の炭素鋼管の製造とほぼ同じである。(ここでは、外径 34.0 ~ 406.4mm の継目無鋼管の製造工程を示す。)Fig.1 における特殊熱処理の概念を Fig.2 に示す。Table 1 に示す化学成分の鋼管は圧延ままではフェライト・パーライト組織を示す。この鋼管をフェライトとオーステナイトの二相温度域に加熱するとパーライトだった部分がオーステナイトに変態し、フェライトはそのままフェライトとして残る二相組織となる。加熱後の冷却過程でフェライト粒が成長し、オーステナイトはフェライトの結晶粒界に網目状に残存する。その状態で急速冷却すると、このフェライト結晶粒界に存在していたオーステナイトがマルテンサイトに変態し、フェライト、マルテンサイトの二相組織となる。

ライト相からなるマトリックス(地)の結晶粒界に、硬いマルテンサイト相が網目状に分散した組織を呈していることである。

Fig.1 Manufacturing process of NK-SL80 seamless pipe

2.3 試作鋼管の諸特性

Table 3 に示した化学成分で、外径 318.5mm、肉厚 17.0mm の鋼管を試作し、諸特性を評価した。製造工程は、Fig.1 に示したとおりである。機械的性質を Table 4 に示す。硬さは、ヴィカース硬さ値で 264 であり、機械的性質はいずれも Table 2 の範囲を満足している。試作鋼管のミクロ組織を Photo 1 に示す。白く見えている地の部分がフェライト相であり、黒く見えている部分がマルテンサイト相である。超マイクロヴィカース硬度計(荷重 1g)により、異なる相別に硬さを測定すると、フェライト組織は、Hv120 ~ 150 に対し、マルテンサイト組織は、Hv250 ~ 300 の範囲に達する。この結果から、フェライト相のマトリックス中に、硬いマルテンサイト相が網目状に分散した組織を呈していることが確認された。

能バンドに位置し、ヴィカース硬さ値 260 程度で、STPY400の2倍という良好な耐摩耗性を示した。また、NK-SL80 鋼管は炭素鋼でありながら、高価な合金元素を含有しているステンレス鋼と同等以上の耐摩耗性を有しており、経済性に優れている。

以降の摩耗試験においては、比較材として、400N/mm² 級炭素鋼であるSS400鋼(Table 5におけるSTPY400相当) および高炭素(C)含有の炭素鋼 JIS S50C 鋼 (0.5%C 鋼) を用いた。

3.1.2 珪砂による回転式摩耗試験結果

コンクリート環境を想定して、珪砂による回転式摩耗試験を実施した。試験環境は、水準 1 (珪砂 (JIS3 号 50kg + JIS5 号 25kg) + 水 (35kg)) および水準 2 (珪砂 (JIS3 号 25kg+JIS5 号 25kg) + 10mm 珪石 (25kg) + 水 (30kg))、

すると、クリンカは処理水によりスラリー輸送され、フライアッシュは真空輸送、圧力輸送される。

クリンカのスラリー輸送環境を想定して、クリンカによる回転式摩耗試験を実施した。試験環境は、水準1(石炭灰(クリンカ)39kg + 水(80kg))および水準2(石炭灰(クリンカ)50kg + 水(70kg))、回転時間は24時間である。試験結果をFig.6に示す。NK-SL80鋼とS50C鋼は、SS400鋼に比べて、水準1、水準2ともに2.2倍の良好な耐摩耗性を示した。

Photo 2に、試験に用いた微粉炭燃焼後のフライアッシュを示す。粒子の形状は、球状と多角形の2種類が観察されたが、多角形の粒子は高倍率にて観察すると、粒径の異なる球状の粒子が重なり合った構造となっている。これから、基本的にフライアッシュの個々の形態は球状であり、単体もしくは凝集体になっていることがわかった。

Fig.6 Abrasion test result for coal ash (clinker)

3.1.4 石炭燃焼灰(フライアッシュ)による照射摩耗試験結果

微粉炭の燃焼に伴って発生する微小のフライアッシュは、電気集じん装置などで捕集されホッパから真空輸送により灰中継タンクに輸送される。さらに圧力輸送により灰貯蔵サイロに輸送される。この輸送ラインにおいて、ホッパから中継タンクまで、また中継タンクから貯蔵サイロま

量では、照射重量および試験片表面状態に関わらず、NK-SL80 鋼と S50C 鋼との間に有意差は認められない。一方、表面粗さ測定結果では、NK-SL80 鋼に比べて S50C 鋼は深さ方向への摩耗がやや大きいことがわかる。

させると考えられる。すなわち、全面的な重量減少による摩耗評価では同等であるが、局所的な侵食に対しては、NK-SL80 鋼管は優位である。

Table 8 Welding conditions of NK-SL80 seamless pipe

ンサイト相に依存している。溶接金属部には、このような網目状マルテンサイト相は現出しない。しかし、溶接金属部は凝固組織であり十分に硬い。また母材でも溶接熱影響部は高温にさらされることにより硬さが僅かに低下する (Hv : 280 ~ 240) が、Fig.4の結果から、耐摩耗性の低下は小さいと考えられる。したがって、Fig.10のフランジ溶接例では、溶接金属部および溶接熱影響部が、ともに管内表面には生じないことから何の問題もなく、また突き合わせ溶接においても Fig.11の例のように施工することにより、耐摩耗性への影響を小さくできると考えられる。

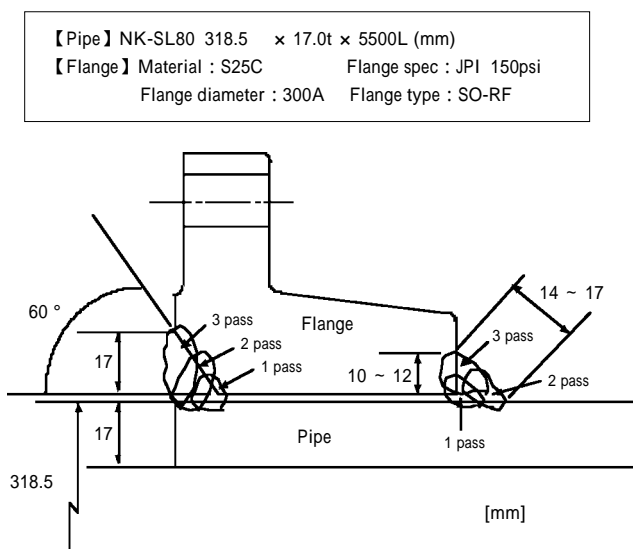


Fig.10 Example of flange welding of NK-SL80

【Pipe】 NK-SL80 318.5 × 17.0 t × 5500L (mm)

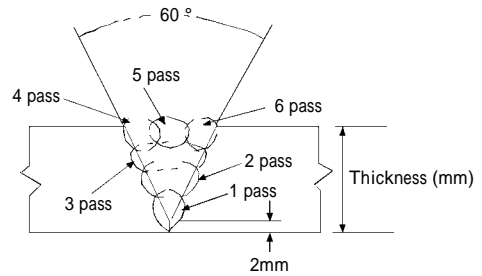


Fig.11 Example of butt welding of NK-SL80

4. 実用化試験

2.1節にて各種摩耗試験の結果を報告した。耐摩耗性は、一義的には硬さで整理されるが、輸送する摩耗材により同一の材料の場合でも大きく左右される。フライアッシュ照射試験において網目状マルテンサイト相の有効性が示唆されたが、実際のフライアッシュ輸送管における確認が重要である。現在、事業用石炭火力発電所のフライアッシュ輸送ラインにおいて、1年間の実証試験を実施中である。

Fig.12に、NK-SL80鋼管の製造可能範囲を示す。石炭焼き火力発電所の石炭燃焼灰輸送管としての需要は、外径 216.3 ~ 355.6mm が主であることから、1.2節の製造工程では、継目無鋼管の場合を記した。耐摩耗性が要求されるスラリー輸送用鋼管としては、他にもごみ輸送システム配管や鉍砕輸送管などがあり、外径 500mm 超の大径鋼管の場合は、UOE 鋼管により製造している⁴⁾。このような鉍砕輸送管としての実用化試験も現在実施中である。

Nominal dia.	Outside dia		Nominal wall thickness (mm)														
	A	B	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
25	1	34.0															
32	1 1/4	42.7															
40	1 1/2	48.6															
50	2	60.5															
65	2 1/2	76.3															
80	3	89.1															
90	3 1/2	101.6															
100	4	114.3															
125	5	139.8															
150	6	165.2															
200	8	216.3															
250	10	267.4															
300	12	318.5															
350	14	355.6															
400	16	406.4															
450	18	457.2															
500	20	508.0															
550	22	558.8															
600	24	609.6															
650	26	660.4															
700	28	711.2															
750	30	762.0															
800	32	812.8															
850	34	863.6															
900	36	914.4															
950	38	965.2															

Fig.12 Available size range of NK-SL80 pipe

