UDC 669.14.018.25:621.792.3

工具鋼の熱間圧延圧着性

長谷川 和正*, 渡辺 輝夫*

Pressure Weldability of Tool Steels by Rolling at Elevated Temperature

Kazumasa Hasegawa and Teruo Watanabe

Synopsis

The pressure weldability of tool steels by hot rolling are experimentally investigated and the effects of steel combinations and rolling conditions are discussed.

The effect of various steel combination can be demonstrated by the oxidation at high temperature and fragmentation of oxide film, deformation resistance ratio and diffusion of alloying elements.

The oxidation prevention by Al addition and availability of the insert layer by nickel plating have a large effect on the pressure weldability. The reduction rate necessary for the bonding can be obtained by behavior of oxide film and deformation behavior of components. The rolling temperature influences the pressure weldability according to influence to oxidation amount.

The influence of surface roughness is little.

The annealing after hot rolling have a large effects on the pressure weldability. At the welded interface C, Cr and Ni are mostly diffused and diffusion of other element is few.

1. ま え が き

金属材料のクラッド化については主として耐食・耐熱材料および導電材料としてのステンレス鋼, Ni 合金, Cu 合金等についてはかなり広く実用化され, その製造法も工業的にすでに確立されている^{1)~9)}。しかしこれらの材料は比較的軟質であり, 熱間あるいは冷間で圧着しやすいものが大部分である。

ところがクラッド材の特徴を考えた場合, 工具鋼はその価格が高いこと, およびとくに刃物では工具としての性能を要する個所が局部的に限られることから, クラッド化によるメリットが最も期待されるものの一つであるが, この工具鋼を熱間圧延圧着法でクラッド

化することに関して, これまで報告されている例は少ない。

その理由の一つは, 一般の熱間圧着圧延では圧着すべきビレット同志を重ね合わせ, その合わせ目の周辺をあらかじめ溶接することによって一体化し, この複合ビレットを圧延圧着する方法によっているが, 工具鋼ではこの溶接が難しいため, この比較的容易な薄いビレットの場合に実用化されているようである。

このため, ここではビレットで工具鋼の周辺を溶接することなしに圧着すべきビレット同志を重ね合わせ, その周辺を軟鋼板で被覆することによって一体化し, それを熱間圧延して圧着することをねらって, その圧着性に及ぼす鋼種の組み合わせ, 圧延条件および表面処理の影響を検討した。

昭和51年8月2日 受付

*大同製鋼㈱研究開発本部中央研究所

2. 実験方法

クラッドに用いた鋼種の組合わせは Table 1 の上段 3 項に示す三つのグループ、すなわち炭素工具鋼と低炭素鋼、炭素工具鋼とステンレス鋼および高速度鋼と強靱鋼あるいは合金工具鋼の組合わせを標準とした。さらに加熱時に生ずる酸化スケールの量を少なくして圧着性を向上するために Al を添加したもの¹⁰⁾ および Ca を添加 (CaO の熱間電気伝導度は Al_2O_3 と同じ程度に小さく¹¹⁾ 従って、拡散速度の抑制が大きく、酸化防止に効果があると予想でき、事実中炭素鋼に添加した例で高温酸化防止の効果を確認している) した鋼種を用い、また表面に FeAl_3 を作って Al_2O_3 系の保護性酸化膜を作ることをねらって Al メッキしたもの、および同様な酸化抑制効果と同時に圧着しやすい中間層を介在させる方法として Ni メッキしたものを用いた。

のを用いた。

圧着圧延法は各鋼種について厚さ 5 mm、幅 50 mm、長さ 150 mm の試験片を作り、合わせ面を粗さ 6 S に研磨後エーテル洗浄して Fig. 1 に示すビレットに組立てそれを軟鋼で被覆して、圧着試験片同志は溶接しないようにしてある。圧延はとくに断らない場合は

Fig. 1. Complete assembly of slab.

1,200°C に 30min 加熱後、直径 240mm、ロール周速 45m/min の 2 Hi ミルによって 6 バスで約 4 mm 厚以下に圧延した。

圧着性の測定は縦断面での圧着界面長さ 10mm 中に残存する非圧着部分の総長を光学顕微鏡によって測定し、その百分率を界面剝離率として判定するとともに、SKH 9 系は 830°C × 0.5hr 炉冷、その他は 760°C × 0.5hr 炉冷の焼なましをした後、Fig. 2 に示す界面せん断試験片を切出し、引張試験によって界面が剝離するときのせん断応力を測定した。

Fig. 2. Test piece for shear test of welded interface.

加熱時の酸化量は 20mm 角 × 5 mm 厚で表面粗さ 6 S の試験片を超音波洗浄後エレマ炉中で所定温度に所定時間保持したのち取出して、加熱前後の重量差から酸化増量を測定した。

酸化スケールの剝離性は平行部寸法 6 mm 丸 × 70 mm 長さの試験片を 1,200°C で 1 hr 加熱後アルゴンガス雰囲気中で焼なまし後室温で振り試験し、表面の酸化スケールが剝離するまでの表面せん断ひずみによって検討した。

圧着界面での成分の拡散状態は C は脱浸炭層の光顕による観察から、その他は X 線マイクロアナライザ

Table 1. Steel combinations for pressure welding.

Steel combinations	
Carbon tool steel-	SK 5-S15C
Low carbon steel	SK 5-SS34
Carbon tool steel-	SK 5-304
Stainless steel	SK 5-430
High speed steel-	SKH 9-SCM 3
High strength steel	SKH 9-SKS 5
Alloy tool steel	SKH 9-SKD 6
Steels containing oxidation resistance elements	SK 5 containing 0.0013%Ca
	-430
	-S15C
Steel combinations with inter-layer	SK5-S15C containing 3.96%Al
	SKH 9 containing 0.0002%Ca -SKS 5
	SK 5-Ni-plated 430
	SK 5-Ni-plated 304
	SKH 9-Ni-plated SKS 5
	SKH 9-Ni foil-SKS5
	Al-plated SKH 9-SKS 5

によって拡散深さを測定した。

3. 実験結果と考察

3.1 鋼種組合せと圧着性

各組合せの場合の圧着性は Fig. 3 に示すようにに炭

Fig. 3. Pressure-weldability of various steel combinations.

素工具鋼と低炭素鋼の組合せが最も圧着性がよく、ついで、高速度鋼と強靱鋼あるいは合金工具鋼の組合せがよく、これらに対して炭素工具鋼とステンレス鋼の組合せ、とくに 430 では界面剥離率が大きくなっており、すなわち圧着した面積は少なくなっているが、圧着面の剥離せん断応力は大きく圧着強度は強くなっている。なお、図中で UP と記したものは圧着界面以外の部分でもせん断破壊したものを示す。これらの界面状態は Photo. 1 に示すように、SK5 と SS34 の組合せでは結晶粒界は圧着界面から移動して結晶的にも完全に圧着しているが、その他の組合せでは腐食すれば圧着界面が明瞭に認められる。

圧着性への鋼種の影響としては圧着前に表面に生じている酸化スケールの量とその剥離性および地同志の

Fig. 4. Oxidation characteristics of steels.

Photo. 1. Microstructures of cross sections of pressure welded interface.

凝着しやすさが考えられる。この酸化特性を Fig. 4 に示す。なお図中で UP と記したものはそのせん断ひずみを与えてもまだ酸化スケールが剥離せず、試験片が折損したことを示す。図からステンレス鋼、とくに 430 はステンレス鋼としては比較的酸化量が多く、一方その酸化スケールの剥離性が悪く、かつ Cr_2O_3 系のかたくて緻密なスケールが圧延時にも破碎されにくく、このスケールによって圧着が防げられるが、いったん剥離した真実接触部分では後述の Fig. 9 に示すように Cr 等拡散しやすい成分を含むため凝着しやすくこのため圧着強度が高くなるものと思われる。

3. 2 酸化量の抑制

圧着性を向上する手段の一つとして酸化スケールの発生量を減じるのが有効と思われるが、加熱・加工時の雰囲気制御によってこれを達成することは价格的に望ましくないことから、ここでは成分的に酸化を抑制した場合の圧着性を検討した。

酸化防止法としてはまず Al を考え、加工性を阻害しない限度として 3.96% 添加¹²⁾ したものおよび表面に Al メッキすることにより加熱時に FeAl_3 を作って Al_2O_3 系の保護性酸化膜を作る方法を用いた。また Ca 添加については 100ppm の添加をねらったが、工具鋼に Ca を残留させることが難しく結果的には 2 ~ 13ppm に留った。さらに Fig. 4 から明かなように

耐酸化性のある Ni を表面被膜としてメッキしたものも検討した。

これらの処理材での組合わせについて圧着性および高温酸化性を測定した結果を Fig. 5 に示す。

S15C に Al を添加した組合わせでは、圧延温度 1,200°C の場合には Al 添加によって圧着性はむしろ阻害されるが、1,050°C と比較的低温で圧延した場合には界面剥離率は著しく向上する。これは酸化増量で明かなように、Al 添加による酸化抑制効果が 1,200°C と高温になると失われてかえって大量の緻密な $\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ が生成して圧着を阻害するためと思われる。SKH9 に Al メッキした組合わせでも 1,200°C 圧延では同様に圧着性は阻害されている。

Fig. 5. Effect of resistance against oxidation on pressure weldability.

Photo. 2. Microstructures of pressure welded interface.

工具鋼に Ca を添加した組合わせでは圧着にほとんど影響がみられず、Ca 量が微少なことによると思われる、別に行った中炭素鋼での酸化防止の例でも Ca としては 100ppm 必要であることがわかっている。

ステンレス鋼に Ni メッキした組合わせでは圧着性は著しく向上しており、これは Fig. 4 に示すような酸化抑制効果、Fig. 9 に示すような拡散しやすさの他に軟質で表面のなじみやすい Ni を中間層としたことによる効果も考えられ、メッキの代りに Ni 箔を介在させても同じ効果が得られている。これらの界面状態は Photo. 2 に示した。Photo. 2 の SK5-430 の組合わせで明らかなように、Ni メッキした場合には以上の効果の他に C が 430 に浸炭して Cr 炭化物層を作ることを防止する効果もみられる。

3. 3 圧下率の影響

圧下率を増すことによって両材料の接触距離が近づくとともに、酸化スケールと地との延性差によって新生面が多くなり圧着性が向上する。

圧延総圧下率と圧着性の関係は Fig. 6 に示すように圧着しやすい SK5-S15C の組合わせでは早期の圧延パスから徐々に圧着が進み、かつ圧着が完了するまでの総圧下率も最も小さくなっている。SK5-430 の組合わせでは圧着開始圧下率が大きくなり、かつ圧着終了までの圧下率範囲が小さくなっている。これは Fig. 5 から推定できるように 430 の酸化スケールの剝離性が悪いことを剝離して地同志が接触するためには大きな変形を要し、このため圧着開始が遅れる

Fig. 6. Effect of reduction on pressure weldability minimum bonding.

が、いったん真実接触すると早期に圧着が終了すると思われる。SKH9-SKS5 の組合わせは圧着開始が最も遅れ、かつ圧着終了までの圧下率範囲は最も小さくなっている。この組合わせでは両者の熱間変形抵抗差が最も大きく例えば温度 1,100°C、ひずみ 30. では SKH9 の変形抵抗 36kg/mm² に対し SKS5 では 23kg/mm² であり、従って各圧延パス時に両者の界面で著しいせん断変形を生ずることが予想され、このためいったん圧着してもその圧着面積が小さい間は界面せん断変形により剝離しやすく、従って狭い圧下率範囲でいっきに圧着が進行するものと思われる。

3. 4 圧延温度の影響

高温になるほど酸化スケールの発生量は多くなり、この点からは圧着しにくくなるが、一方酸化スケールの剝離した真実接触部分では高温ほど拡散が容易で圧着しやすくなり両者のバランスによって圧着性がきまるとと思われる。

Fig. 7 は圧延温度の圧着性および酸化への影響を調査した結果である。SKH9-SKS5 の組合わせでは界面剝離率への温度の影響は小さい。これは高温強度が大きく圧着性を主として支配すると考えられる SKH9 の酸化増量が温度によって大きく変化しないことによると思われる。

SK5-A1 添加 S15C の組合わせでは圧着性 (界面剝離率) は比較的低い温度ではよいが 1,200°C になると低下している。これは Al 添加してもこの高温域では酸化増量が大きいことため圧着性が阻害されることによる。

Fig. 7. Effect of temperature on lack of bonding and oxidation.

3. 5 表面粗さの影響

圧着性への表面処理の影響は熱間圧着の場合には加熱時に酸化スケールが発生するために冷間圧着の場合のような注意深い前処理は意味がないが、表面粗さは高温酸化性および圧着時の真実接触面積への影響を介して圧着性を左右することが予想される。

Fig. 8 は加熱前の表面粗さの影響を調べた結果

Fig. 8. Effect of surface roughness on lack of bonding and oxidation.

で、この粗さ範囲内では圧着性への影響はみられない。これは高温酸化性および加熱デスケール後の表面粗さへの影響が小さいことによると思われる。すなわち Fig. 8 で SK 5 の加熱後の表面粗さからわかるように、加熱によってある程度酸化が進行すると鉄表面が侵食されて、そのときの表面粗さが約 100 μ m 前後となり、従って加熱前の粗さをこれより細くしても加熱によってその効果が失われるものと思われる。このため SK 5 への酸化増量についても加熱前の表面粗さの影響は微小となっている。

3. 6 拡散焼なましの効果

工具鋼では熱間加工後焼なましを必要とし、この焼なましによって拡散が進行して圧着性を向上することが期待できる。このためとくに圧着性の劣る SK 5-430 の組合せについて圧着圧延後に 760 $^{\circ}$ C $\times$ 2 hr の炉冷の焼なましを行い、界面剝離率の変化を測定した結果は Fig. 3 に併記したように界面剝離率が著しく小さくなり、比較的低温短時間の焼なましによっても圧着が進行することがわかる。

3. 7 圧着界面での成分拡散

Fig. 9 は圧着圧延のままの界面での成分拡散深さを測定した結果で、Cr が最も拡散しやすく、ついで Ni であり他は微量となっている。

Fig. 10 は圧着界面付近でのかたさ分布を測定したもので、SK 5 および SKS 5 側には脱炭によるかたさの低下がみられるが、これらは相手材への C の拡散の他に加熱時の酸化脱炭も含んだものである。SS 34 側

Fig. 9. Diffusion at welded interface.

Fig. 10. Variation of hardness at interface of various steel combinations.

には浸炭によるかたさの上昇がみられる。430 側ではその界面近くにかたさのピークがみられ、これは Photo. 2 に示すようにこの付近には浸炭による Cr 炭化物の層が生じることによる。

圧着界面にあらかじめ Ni メッキした場合には Fig. 11 に示すように 430 および SKS 5 側の脱浸炭によるか

Fig. 11. Variation of hardness at interface of Nickel-plated steel combination.

たさ変化はみられないが、SKH 9 側の界面近くのかたさは Ni メッキしない場合と同様にややかたさが上昇している。この原因としては浸炭の他に熱伝導率の差 (SKS 5 に比し SKH 9 は 36 % 小さい) による加熱・冷却速度の差の影響も考えられるが、Fig. 12 に示すように圧着圧延後に焼なましをしてもこの傾向が

Fig. 12. Variation of hardness at interface of SKH 9 clad steels.

変らないことおよび SS41 との圧着ではこれがみられないことから SKH 9 への浸炭が主な原因と思われる。

4. 結 論

工具鋼の圧延圧着性に関して鋼種組合せの特徴と 2・3 の処理条件の影響を実験的に検討してつぎの結論を得た。

(1) 鋼種的には炭素工具鋼と軟鋼の組合せが最も圧着しやすく、ついで高速度と強靱鋼あるいは合金工具鋼の組合せがよく、炭素工具鋼とステンレス鋼の組合せは界面剝離率は劣るが、真実圧着分の圧着強度は優れる。

(2) Al 添加によって酸化抑制したものは、酸化抑制の効果のある温度域で圧延すれば圧着性を向上できる。

(3) Ni メッキあるいは Ni 箔を介在させることによって圧着性が向上し、かつ界面での脱浸炭を防止できる。

(4) 圧延による圧着の進行は、炭素工具鋼と軟鋼の組合せは早期に圧着を開始するのに対し、ステンレ

ス鋼では表面酸化スケールの剝離性が劣るために、高速度鋼では界面でのせん断変形が著しくなるために圧着の開始が遅れるが、圧着が終了するまでの総圧下率には大きな差はみられない。

(5) 圧延温度の影響は酸化スケールの発生量を介して影響をうけている。

(6) 加熱前の表面粗さは $100\mu\text{m}$ 以下の場合にはその影響はみられない。

(7) 圧着圧延後の焼なましは圧着の進行に効果がある。

(8) 圧着界面での成分拡散深さは C が最も深く、ついで Cr, Ni であり、その他の成分の拡散は少ない。これを防ぐためには界面にあらかじめ Ni メッキを施せばよい。

(文 献)

- 1) L. C. Deardorff; Iron & Steel Eng., 51 (1974)2, 52
- 2) 浦山他; 川崎製鉄技報, 3 (1971)1, 108
- 3) M. B. Happ; Metal Progress, 95 (1969)2, 95
- 4) S. A. Golovanenko; Stal in English, (1969), 657
- 5) 山路; 金属材料, 9 (1969)11, 98
- 6) J. R. Howell; Wire & Wire Products, 42 (1967), 1312
- 7) D. R. Brown; Sheet Metal Industries, 39 (1962), 383
- 8) B. H. Holtzman; Sheet Metal Industries, 39 (1962), 383
- 9) G. Durst; J. of Metals, 8 (1956)3, 328
- 10) 三島他; 鉄と鋼, 30 (1944)3, 233
- 11) L. E. Price; J. Inst. 63 (1938), 21
- 12) C. Sykes; J. of Iron & Steel Inst. 130 (1934), 389