

技術論文

ロールの表面処理層と中間層が耐打ち疵性へ及ぼす影響

—ロールによる鋼板への転写現象の解明 第2報—

Influence of Hard Facing and Intermediate Zone on Indentation Resistance in Coiler Rolls

—Transcription Phenomena to Strips by Coiler Roll in Hot Strip Mill, No.2—



技術開発センター
尾崎 健一
Ken_ichi Ozaki

技術開発センター
姜 孝京
Hyo-Gyoung Kang

技術開発センター
園田 晃大
Akio Sonoda

要旨

製鉄所の熱延設備における鋼板の捲取りロールでは、ロールの表面形状が鋼板の品質へ与える影響が大きく、ロール表面のわずか数 μm の凹凸でもストリップ（鋼板）材へ転写し、ストリップ材の表面欠陥として鋼板の品質を低下させ、極めて大きな被害や損失を招いている。

第1報では、鋼板の捲取りロールにおける耐打ち疵性の向上策として、表面処理材と母材間の中間層硬さが重要であることを報告した。本稿では、それをさらに検討し、表面処理材と母材との間における中間層の硬さについて押し込み試験を行い、硬さと厚みとの関係がロールの耐打ち疵性へ及ぼす影響を明らかにしたので報告する。

Synopsis:

In the case of the coiler rolls in hot strip mill plants, the unevenness of even a few μm size levels existing on the roll surface is transcribed on strip surface and resulted in a severe loss which is caused by the quality problems of surface defect in the strip. Consequently the surface condition of roll is highly related to the quality of strip.

In the previous report, we have found that in order to increase the indentation resistance for the coiler rolls, it was important to control the hardness of the intermediate zone between hard facing alloy and a base metal. In this paper, we investigated on the constitution of the intermediate zone between hard facing alloy and base metal, and found that the indentation resistance was significantly affected by the constitution of hardness and thickness in the welded overlay alloys as the results of indentation tests.

1 緒言

製鉄所の熱延プロセスで用いられるロールやローラ類の多くは、高温で腐食環境下であり、なかでも熱延設備におけるストリップ捲取りに用いられるロール類には、耐熱性・耐腐食性・耐摩耗性・耐打ち疵性など多くの耐久性能が要求される。そのため、

種々の表面処理を施したロールが用いられている。

現在でも需要家の高い品質要求に従い、熱延技術また品質管理の水準の向上はもとより、当社にはさらなるロール材質特性の向上が期待されている^{1),2)}。

ストリップ材の捲取りロール表面に発生した腐食や損傷は、わずか数 μm の凹凸でもストリップ材へ

転写し、表面欠陥として鋼板の品質を著しく低下させた報告例は多くある。そのためロールの表面が長期間にわたり正常な状態を維持することが可能なロール材を提供することは、ロールメーカーとして重要な課題となっている。

第1報では実装事例から、①肉盛溶接の熱影響部によるストリップ材への転写、②ロール表面の打ち疵によるストリップ材への転写を取り上げ、各々の発生メカニズムの解明とその防止策について検討し、ロールの処理層における硬さの耐打ち疵性へ及ぼす影響について報告した。本稿ではロール表面の打ち疵によるストリップ材への転写の対策として、表面処理材と母材の間の中層における硬さの重要性についてさらに研究を進め、これらの関係を検討し、打ち疵による転写現象の防止策について提言する。

2 熱延設備の概要

本稿で取り扱う熱延工程の捲取り設備とは、加熱炉、粗圧延および仕上げ圧延を通過し、要求仕様の機械的性質を有した製品としてのストリップ材を、ホットランテーブル上にてコイル状に巻き取る設備のことである。

この捲取り設備（コイラー）は、一般的にサイドガイド、上下ピンチロール、ラッパーロール、マンドレルおよびコイル抽出機からなり、この代表的な構成図をFig.1に示す。

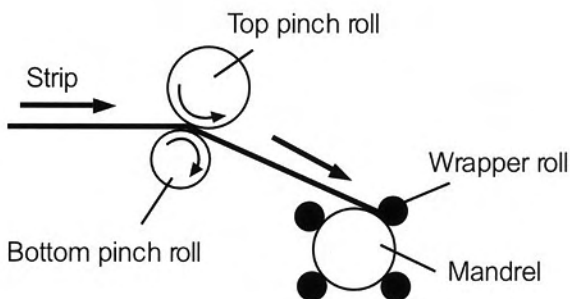


Fig.1 Construction of coiler in hot strip mill

仕上げ圧延を通過したストリップ材は、板の速度に対して5～20%のリード速度で回転する上下ピンチロールによりマンドレルへと送り込まれる。この上下ピンチロールは、通常10～20%のオフセット角にセットされており、ピンチロールに噛み込んだストリップ材は先端が下に曲げられ、ラッパーロール（ユニットロール）とマンドレルの間へ案内される。このラッパーロールは、ストリップの先端をマンドレルの周囲に沿って確実に搬送する役目を果たし、適切な圧力でストリップをマンドレルに押

し付ける。このため、ストリップ材に曲げ変形が生じ、その結果、捲取られ易い形状となる³⁾⁴⁾。

こうした熱延プロセスによって得られたストリップ材の表面粗さは、圧延条件または圧延に関係する種々のロールの状況によっても異なるが、一般には約10 μ m前後といわれている。しかし、ストリップ材に美観や機械的強度などが要求される場合には、この表面に僅かな凹凸傷、あるいは凹凸として表現できない色調の差異のようなものでも、表面欠陥として処理される場合がある。

このような事例として、ロールのビード模様がストリップ材に転写した実例を挙げる。Fig.2は、ビード模様があるロールの外観を示したものである。ロール表面粗さの最大断面高さ R_{at} は、ビードの原質部で $R_{at} : 1.0\mu$ m以下であったのに対し、熱影響部では $R_{at} : 3.5\mu$ m以上であった。

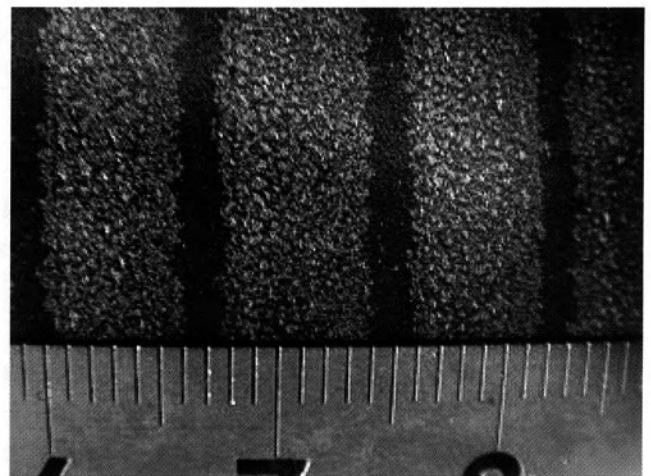


Fig.2 Appearance of coiler roll wounded

このロールによって巻き取られた鋼板の外観をFig.3に示す。捲取りロールの表面状況が、そのままストリップ材に転写している様子が分かる。この実例で示されるように、熱延工程の捲取り設備に供用するロールは、材質の仕様において高いレベルが求

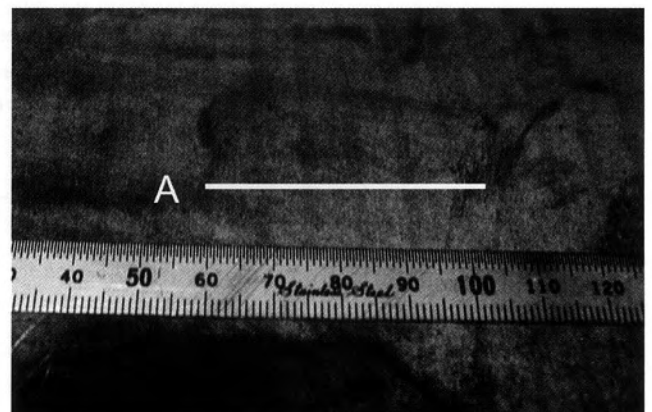


Fig.3 Appearance of strip surface transcribed

められる。当社では、従来主流であった溶接による鉄基合金での表面処理法では、溶接時の基材からの鉄の含有量が、表面処理層で10%以上となり、腐食または溶接ビード模様が発生によるロール表面の劣化が生じる傾向が強いことを確認している。そこでロール表面処理材を非鉄基合金へ変更することで、かかる問題を解決することが可能になった。

3. 捲取りロールにおける打ち傷の発生

上下ピンチロールでは、ストリップ材が捲取りロールへ噛み込まれる際、オフセット角度の影響により捲取りロールの表面に打ち疵が発生し易くなる。また、ロールとストリップ材との接触時間が長い為、ストリップ材にロールの打ち傷が転写する可能性が高くなり、それに伴いストリップ材の製品歩留りが著しく低下する場合がある。

打ち疵が発生したロールの外観写真をFig.4に示す。

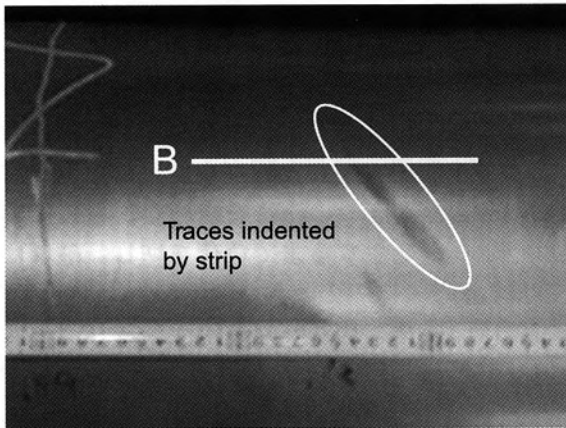


Fig.4 Photo showing appearance of traces indented by strip during work

これらの打ち疵が発生した部位のロール軸方向 (Fig.4のB線) におけるロール表面の凹凸を、レーザー変位計で測定したところ、打ち疵はFig.5で示すように、深さ約80 μ mのくぼみとなっていることがわかる。

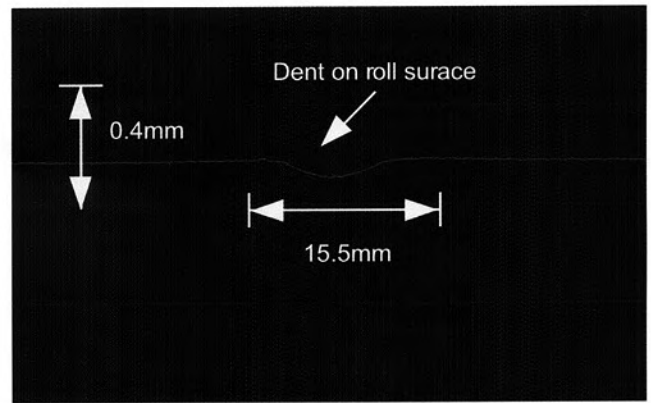


Fig.5 Profile traced with displacement meter by laser beam around dent on roll surface

さらに、希な事例ではあるが、ロールにおける打ち疵の深さが1mmを越える報告もあることから、ロールの打ち疵を早急に解決する必要がある。

4. 実用ロールの打ち疵対策について

実用ロールの肉盛溶接では、基材と表面処理材の間に中間層を施すことで、ストリップ材との接触応力を緩和させる方案が多く採用されている。第1報ではこの経験に従い、表面処理材と中間層を変化させ、耐打ち疵性の評価試験を行った。この試験方法はS S鋼材の表面に、2.0mmの中間層と1.5mmの表面処理材を肉盛溶接した試験材を作成した。Table 1で示すように、耐打ち疵性の向上には、中間層の硬度を高くすることが有効であるとの知見を得た。

ここで、中間層の硬度を高くした場合、押し込み深さが減少する試験結果について考察する。

材料の硬度を高くすることにより、ヤング率が大きくなると仮定すると¹⁰⁾、Hertzによって導かれた点接触、線接触など集中接触の応力解析⁹⁾を用いることができるから、試験結果をこのHertzによる応力解析を用いて整理する。Fig.6にその分布を示す。この図は接触中央部での表面近傍の応力分布を表しており、接触部の応力 σ_z はヤング率に反比例する関係から、硬度を高くすることにより、ヤング率

Table 1 Result of indentation tests with slow Loading

SP.No.	Intermediate zone		Hard facing zone		Load kN	Fixed load test Depth of Indentation(μ m)
	Thickness (mm)	Hardness (HS)	Thickness (mm)	Hardness (HS)		
A	2	65	1.5	44	500	60
B	2	56	1.5	36	500	130
C	2	57	1.5	60	500	160
D	2	33	1.5	60	500	600

が大きい材質となり、その結果ひずみ量が小さくなり、押し込み深さが減る可能性を示唆している。また、Fig.6より表面処理層及び中間層の厚さを増す構成にすることによって、材料の押し込み深さを減ずる効果があると推定できる。

そこで、この推定を実証するために、材料の表面処理層および中間層の厚さと硬度を変更して、耐打ち疵性の評価試験を行った。

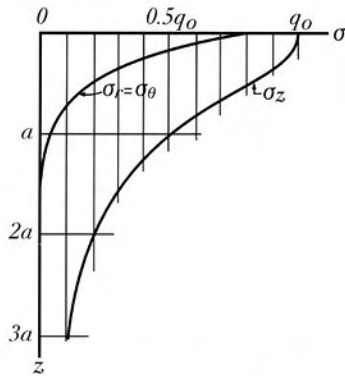


Fig.6 Distribution of stress at the near surface in the contact zone

準備した供試材の表面処理層および中間層の材質は、全て非鉄系の材質である。材質に非鉄系を選出した理由を前項の2で述べたが、本研究がロール表面を長期間にわたり、正常な状態が維持できるロール材を提供することを目的としているため、本研究課題として次の項目を設定し、これらの特性を全て満足できる表面処理層および中間層の厚さと硬度を検討した。

- (1) 溶接によるビード模様を解消すること。
- (2) 腐食による表面性状の劣化を防止すること。
- (3) 環境の温度による硬度の低下を抑制すること。

5. 耐打ち疵性の評価試験方法および試験結果

(1) 試験方法

材料の耐打ち疵性に対する評価試験の方法は、第1報と同様、Fig.7およびFig.8に示すように、万能試験機⁷⁾を用いた。10×10×50mmのS S鋼片を介し、

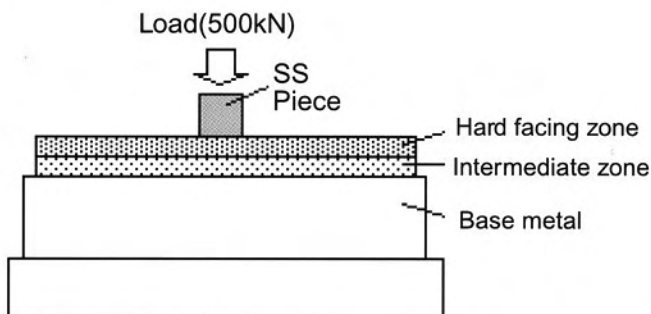


Fig.7 Schematic diagram showing method of indentation tests with slow loading

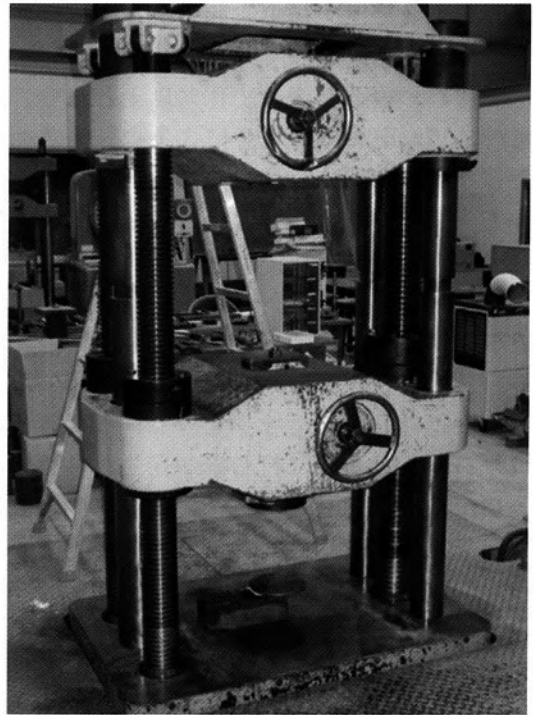


Fig.8 Photo showing indentation tests

供試材に500kNの負荷を一定時間加えた後、表面処理層および中間層の厚さと硬度を変更した供試材の表面に残存したくぼみの深さを求めた。さらに供試材にクラックが発生するまで負荷を増し、破壊に至った荷重およびくぼみの深さも測定した。

供試材は、通常の特種肉盛溶接法および肉盛層の厚肉化や溶接ビード模様の抑制に大きな威力を発揮し、当社の固有技術であるCPC法 (Continuous Pouring Process for Cladding) の二つの工法により製作した。それぞれの供試材は、所定の熱処理を施した後で、荷重を受ける試験片の表面を平面研磨して試験に供した。Table 2に試験材質の押し込み硬度およびヤング率の参考値を示す。

Table 2 List of specimens tested

Hardness	HS	40	45	60	70	80	95
	HV	270	280	450	560	675	900
Modulus of elasticity	GPa	195	—	215	—	220	225

(2) 試験結果

特殊溶接法にて準備した試験片No.E,F,G,H、および当社のCPC法による試験片No.I,J,Kの試験結果をTable 3に示す。

押し付け荷重を500kNとした試験では、第1報での供試材より中間層と表面処理層を共に厚くした今回の供試材でのくぼみの深さがいずれも減少する結果を得た。

Table 3 Experimental materials and examination results

Specimen No.	Intermediate zone		Hard facing zone		Fixed load test		Break down test	
	Thickness	Hardness	Thickness	Hardness	Load	Depth of indentation	Load	Depth of indentation
	mm	HS	mm	HS	kN	μm	kN	μm
E	2	65	3	60	500	20	819	200
F	5	40	3	70	500	10	730	160
G	5	45	3	95	500	20	620	80
H	10	45	3	95	500	20	970	55
I	-	-	5	80	500	20	760	210
J	-	-	10	80	500	20	760	190
K	-	-	15	80	500	10	1060	115

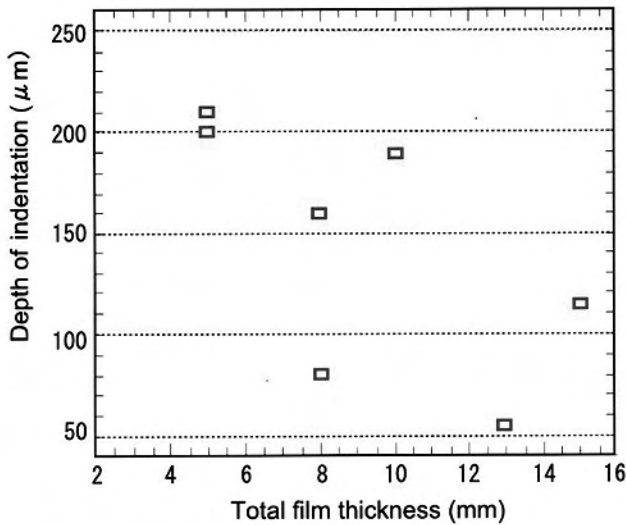


Fig. 9 Effect of total film thickness on depth of indentation

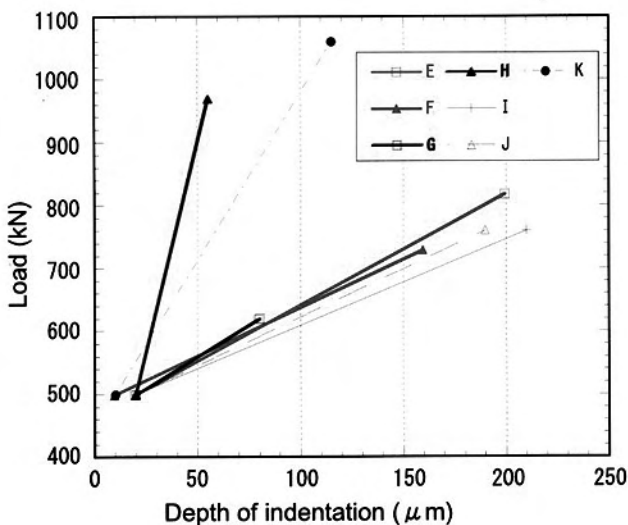


Fig. 10 Effect of load on depth of indatation in specimens tested

クラックが発生するまで負荷を加えた場合の試験結果を、中間層の厚さと表面処理層の厚さを加えた合計の厚さがくぼみの深さに及ぼす影響を調べた。その結果をFig.9のように整理した。この図からも分かるように合計の厚さを厚くすると、くぼみの深さが減少する効果のあることが確認できた。

次に各々の供試材でクラックが発生した負荷におけるくぼみの深さを、Fig.10のように整理した。試験片No. Hと試験片No. Kが、非常に興味深い傾向を示している。試験片No. Hは中間層が厚く、また表面処理層の硬度が供試材の中で最高値を示しており、試験片No. Kは単層からなる供試材であるが、試験片No. G, Hに次ぐ硬度を有し、かつ処理膜厚は、供試材の中で最も厚い特性を有している。また、試験片No. H, Kともに、中間層と表面処理層の合計の厚さが10mm以上である。

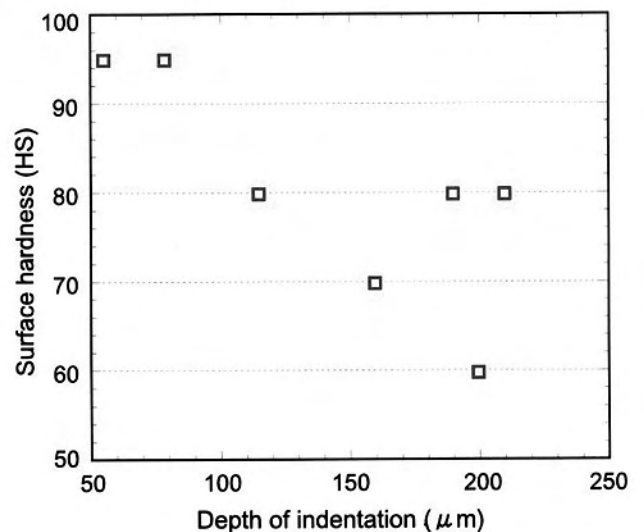


Fig. 11 Effect of surface hardness on depth of indentation

ここで深さ方向への応力 σ_z は、表層で高く内部へ移行するほど減少するHertzの理論と照らし合わせると、Fig11に表されるように、表層の硬度が高い供試材、すなわちヤング率の高い材質ほど、くぼみの深さを減少する傾向のあることが確認できる。今回の試験結果から、表面処理層の望ましい硬度はHS 90以上であることが分かった。

6. 結言

本稿では、ロール表面への押し込み疵の抑制策として、表面処理層および中間層の硬度および表面処理層の厚さ構成について検討を行った。得られた研究結果を要約すると、次の通りである。

- (1) 中間層と表面処理層における合計の厚さが増すに従い、押し込み疵は減少する傾向にあり、合計の厚さが10mm以上になると、その効果が著しく改善される。
- (2) 前述の効果は、中間層を用いない単層においても有効である。
- (3) 表面処理層の硬度が高い供試材、すなわちヤング率が高い材質ほど、押し込み疵は減少する傾向にあり、今回の試験結果ではHS 90以上の硬度が望ましい。

これらの知見から、目的とするストリップ材へのロール表面の押し込み疵は、防止できるものと考えられる。

実施にあたっては、10mm以上の表面処理層を要することから、次の特徴を有するC.P.C法によるクラッドロールが最適である。

- ① 指向性凝固の1層盛りであり、肉盛溶接ビード模様の出現がない。
- ② 1層盛りであることから、層中に脆化層の出現がない。
- ③ 肉盛速度は肉盛溶接の比ではなく、厚肉盛には極めて有利である。
- ④ 肉盛溶接と同様に、非鉄合金のクラッド化も可能である。
- ⑤ 母材との接合は金属接合であるため、接合強度が極めて高い。

参考文献

- 1) 佐々木、園田：フジコー技報No.10 (2002) 44
- 2) 坂本、玉川、津田、森高：フジコー技報No.1 (1993) 9
- 3) 沼、坂本、植田、斉藤：フジコー技報No.6 (1998) 25
- 4) 日本鉄鋼協会編：新版鉄鋼便覧、丸善 (1973) 909
- 5) 吉武、中村：ステンレス鋼の溶接、産報出版 (1979)
- 6) 例えば溶接学会編：溶接・接合便覧、丸善 (1990) 801
- 7) 中川、盛中、遠藤、光永：新選材料試験方法、養賢堂 (1967) 6
- 8) ティモシェンコ、グーディア：弾性論、コロナ社 (1973) 423
- 9) 山本、兼田：トライボロジー、理工学社 (1998) 27
- 10) 園田、大野：フジコー技報No.12 (2004) 42