

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2016-104902

(P2016-104902A)

(43) 公開日 平成28年6月9日(2016.6.9)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
C 2 2 C 38/00 (2006.01)	C 2 2 C 38/00 3 0 3 U	4 K 0 3 3
C 2 2 C 38/60 (2006.01)	C 2 2 C 38/60	5 E 0 4 1
H 0 1 F 1/16 (2006.01)	H 0 1 F 1/16 A	
C 2 1 D 8/12 (2006.01)	C 2 1 D 8/12 A	

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号	特願2015-185133 (P2015-185133)	(71) 出願人	000001258 J F E スチール株式会社 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号
(22) 出願日	平成27年9月18日 (2015.9.18)	(74) 代理人	100126701 弁理士 井上 茂
(31) 優先権主張番号	特願2014-234067 (P2014-234067)	(74) 代理人	100130834 弁理士 森 和弘
(32) 優先日	平成26年11月19日 (2014.11.19)	(72) 発明者	尾田 善彦 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J F E スチール株式会社内
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)	(72) 発明者	平谷 多津彦 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J F E スチール株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 高けい素鋼板

(57) 【要約】

【課題】 打ち抜き加工性および磁気特性に優れた高けい素鋼板を提供する。

【解決手段】 本発明の高けい素鋼板は、mass%で、Si: 5.0%以上7.0%以下、C: 0.010%以下、Mn: 0.01%以上1.0%以下、Al: 0.1%以下、O: 0.01%以下、P: 0.020%以下、Pb: 0.0050%以下を含有し、As: 0.0005%以上0.0040%以下およびSn: 0.0005%以上0.0040%以下のいずれか一種以上を含み、残部Feおよび不可避不純物からなり、結晶粒界の酸素濃度(結晶粒界に偏析する元素中の酸素濃度)が30at%以下である。

【選択図】 なし

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

mass %で、Si : 5.0 %以上7.0 %以下、C : 0.010 %以下、Mn : 0.01 %以上1.0 %以下、Al : 0.1 %以下、O : 0.01 %以下、P : 0.020 %以下、Pb : 0.0050 %以下を含有し、As : 0.0005 %以上0.0040 %以下およびSn : 0.0005 %以上0.0040 %以下のいずれか一種以上を含み、残部Feおよび不可避不純物からなり、結晶粒界の酸素濃度（結晶粒界に偏析する元素中の酸素濃度）が30 at %以下である高けい素鋼板。

【請求項 2】

mass %で、さらに、Mo : 0.0005 %以上0.0050 %以下とする請求項 1 に記載の高けい素鋼板。

10

【請求項 3】

mass %で、さらに、Pb : 0.0030 %未満とする請求項 1 または 2 に記載の高けい素鋼板。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、トランスやモータの鉄心材料等に使用される高けい素鋼板に関するものである。

【背景技術】

20

【0002】

けい素鋼板は優れた磁気特性を有するため、トランスやモータの鉄心材料等に広く使用されている。そして、けい素鋼板の鉄損は、Si 添加量が増加するほど低下するため、磁気特性（鉄損）の点から高けい素鋼板を用いることが好ましい。

【0003】

高けい素鋼板をトランスやモータ等の部品として使用する場合、打ち抜き加工が必要となる。しかし、高けい素鋼板は脆性であるため打ち抜き加工による割れが生じ易く、このため、その加工は特許文献 1 に示されるように温間加工で行うか、或いは、加工条件、例えば、金型のクリアランスを厳密に管理して行う必要がある。

【先行技術文献】

30

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開昭 62 - 263827 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、温間加工を行うためには加熱設備を備えたプレス機が必要になり、また、熱膨張を考慮した金型設計が必要であるため、高精度の高価な金型が不可欠となる。

【0006】

また、室温で加工する場合にはクリアランスを通常の電磁鋼板よりも非常に狭く厳密に管理すれば打ち抜き可能であるが、その場合、金型の損耗が激しく、チッピング等も起こりやすいという問題がある。また、打ち抜きに伴いクリアランスも広くなるため、金型の交換頻度も高くなるという問題がある。

40

【0007】

本発明はかかる課題を解決し、打ち抜き加工性および磁気特性に優れた高けい素鋼板を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明者らが高けい素鋼板の打ち抜き時の割れを防止する手段について鋭意検討した。その結果、結晶粒界に偏析する元素中の酸素濃度、すなわち、結晶粒界の酸素濃度（以下

50

、単に粒界酸素量と称することもある)を制御するとともに、粒界偏析型元素であるAs、Snを規定することにより良好な打ち抜き加工性が得られることを見出し、本発明を完成するに至った。

【0009】

本発明は以上の知見に基づいてなされたものであり、以下を要旨とするものである。

[1] mass %で、Si : 5.0 %以上7.0 %以下、C : 0.010 %以下、Mn : 0.01 %以上1.0 %以下、Al : 0.1 %以下、O : 0.01 %以下、P : 0.020 %以下、Pb : 0.0050 %以下を含有し、As : 0.0005 %以上0.0040 %以下およびSn : 0.0005 %以上0.0040 %以下のいずれか一種以上を含み、残部Feおよび不可避不純物からなり、結晶粒界の酸素濃度(結晶粒界に偏析する元素中の酸素濃度)が30 at %以下である高けい素鋼板。

[2] mass %で、さらに、Mo : 0.0005 %以上0.0050 %以下とする上記[1]に記載の高けい素鋼板。

[3] mass %で、さらに、Pb : 0.0030 %未満とする上記[1]または[2]に記載の高けい素鋼板。

なお、本明細書において、鋼の成分を示す%は特に断りのない限りmass %である。

【発明の効果】

【0010】

本発明によれば、打ち抜き加工性および磁気特性に優れた高けい素鋼板を提供することができる。高精度の高価な金型を必要とせず、金型の損耗が激しく、チッピング等も起こりやすいという問題も解決される。したがって、本発明の鋼板は、トランスやモータの鉄心材料に好適に用いることができる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】結晶粒界の酸素濃度と割れ個数との関係を示す図である。

【図2】Asと割れ個数との関係を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0012】

以下、本発明を詳細に説明する。

本発明を実験結果に基づいて詳細に説明する。

【0013】

最初に、打ち抜き時の割れに及ぼす粒界酸素量の影響を調査するため、以下の実験を行った。C : 0.0020 %、Si : 3.0 %、Mn : 0.24 %、P : 0.01 %、Al : 0.001 %、O : 0.0021 %とした鋼をラボ溶解し、熱間圧延により板厚1.6 mmとした。引き続き、この熱延板に980 x 30 sの熱延板焼鈍を施し、酸洗後、板厚0.10 mmまで冷間圧延し、四塩化珪素のガス中で1200 x 5 minの仕上焼鈍を行い、仕上焼鈍後のSi濃度を6.5 %とした。なお、結晶粒界の酸素濃度を変化させるため、仕上焼鈍時の露点を0 ~ -40 の範囲で変化させた。以上により得られた高けい素鋼板に対して、50 mm x 30 mmの矩形サンプルに室温で打ち抜き加工を施し、割れと各高けい素鋼板の粒界酸素量との関係を調査した。各鋼板の打抜き性は剪断面を倍率50倍の顕微鏡で検査し、割れの発生個数で評価した。粒界酸素量は、オージェ電子分光装置を用いた。この装置による測定では、真空度 10^{-7} Pa以下に保った真空容器中において試料を破壊させ、大気に汚染されていない清浄な粒界破面を観察しながらオージェ電子を分光するものであり、これにより清浄な粒界破面における元素の分析が可能である。以上により得られた結果を図1に示す。図1より粒界酸素量を30 at %以下とすることにより、打ち抜き時の割れ発生は大きく減少することがわかる。

この原因を調査するため、打ち抜き時に割れた破面を観察したところ、粒界酸素量が低い材料では粒内割れが多く見られたが、粒界酸素量が高い材料では粒界割れが多く認められた。このことから、粒界酸素量が高くなると粒界強度が低下し、粒界割れが起こりやすくなり、打ち抜き時に割れが発生しやすくなったものと考えられる。

以上より、本発明では、結晶粒界の酸素濃度（粒界酸素量）は30at%以下とする。好ましくは10at%以下である。なお、結晶粒界の酸素濃度（粒界酸素量）は、最終の熱処理として真空度を調整した真空熱処理を行うか、仕上焼鈍時の焼鈍温度に対して、露点を厳密に調整することにより制御することができる。

【0014】

次に、高けい素鋼板の製造安定性を調査するため、実機にて、C：0.0022%、Si：3.0%、Mn：0.20%、P：0.01%、Al=0.001%、O=0.0025%とした鋼を10チャージ溶解し、熱間圧延により板厚1.6mmとした。引き続き、この熱延板に980×30sの熱延板焼鈍を施し、酸洗後、板厚0.10mmまで冷間圧延し、四塩化珪素のガス中で1200×5minの仕上焼鈍を行った。ここで露点は-40とした。以上により得られた高けい素鋼板に対して、50mm×30mmの矩形サンプルに室温で打ち抜き加工を施し、割れの発生を調査した。また、粒界酸化量をオージェ電子分光法にて測定した。その結果、粒界酸化量は10at%と低かったものの、打ち抜き時に割れるサンプルが認められた。割れた原因を調査するため、破面のオージェ分析を行ったところ、粒界にAsが認められ、鋼板の成分分析を行ったところ、Asが100ppmと高く含まれていることが明らかとなった。通常のけい素鋼板ではこの程度のAsの混入は打ち抜き性を劣化させることはないが、高けい素鋼板は非常に脆いため、極微量のAsの粒界偏析が打ち抜き時の割れを発生させたものと考えられる。

10

【0015】

次に、Asが打ち抜き性に及ぼす影響を調査するため、実験室にて、C：0.0022%、Si：3.3%、Mn：0.22%、P：0.01%、Al：0.001%、O：0.0025%、Asをtr.~0.0060%とした鋼を溶解し、熱間圧延により板厚1.6mmとした。引き続きこの熱延板に980×30sの熱延板焼鈍を施し、酸洗後、板厚0.10mmまで冷間圧延し、四塩化珪素のガス中で1200×5minの仕上焼鈍を行い、仕上焼鈍後のSi濃度を6.5%とした。ここで露点は-40とした。以上により得られた高けい素鋼板に対して、50mm×30mmの矩形サンプルに室温で打ち抜き加工を施し、割れの発生を調査した。なお、割れの測定方法は図1と同様である。

20

【0016】

図2にAs量と割れの関係を示す。図2より、Asが0.0040%を超えると割れ発生頻度が高くなることがわかる。Asは表面偏析して仕上焼鈍時の窒化を防止する効果のある元素であるが、打ち抜き時の割れ防止の観点からはAsは少ない方が好ましく、本発明においては0.0040%以下とする。また、窒化を防止する観点からは0.0005%以上が好ましい。

30

【0017】

次に、本発明の高けい素鋼板の成分組成について説明する。

【0018】

Si：5.0%以上7.0%以下

Siが5.0%未満では固有抵抗が低く、優れた高周波鉄損が得られない。一方、Siが7.0%を超えると飽和磁化が著しく低下する。このため、Siは5.0%以上7.0%以下とする。

40

【0019】

C：0.010%以下

Cは0.010%超えになると磁気時効により鉄損が増加するため、Cは0.010%以下とする。

【0020】

Mn：0.01%以上1.0%以下

Mnは加工性を改善するため0.01%以上必要であるが、1.0%を超えると飽和磁化が低下する。このため、Mnは0.01%以上1.0%以下とする。

【0021】

Al：0.1%以下

50

Alは0.1%を超えると微細なAlNとして析出して磁気特性を劣化させる。このため、Alは0.1%以下とする。

【0022】

O:0.01%以下

Oは0.01%を超えると高けい素鋼板の加工性を劣化させる。このため、Oは0.01%以下とする。なお、ここで規定するOは、粒内および粒界を含む全体のO量である。

【0023】

P:0.020%以下

Pは0.020%を超えると材料が脆くなり打ち抜きが困難となる。このため、Pは0.020%以下とする。

10

【0024】

As:0.0005%以上0.0040%以下およびSn:0.0005%以上0.0040%以下のいずれか一種以上

As:0.0005%以上0.0040%以下

本発明において重要な要件である。図2に示す結果および上記により、Asは0.0005%以上0.0040%以下とする。好ましくは0.0005%以上0.0010%以下である。

【0025】

Sn:0.0005%以上0.0040%以下

SnはAs同様粒界偏析型の元素であり、本発明において重要な要件である。Asと同様の理由により、上限を0.0040%とする。一方、窒化抑制の観点からは0.0005%以上が好ましい。以上より、Snは0.0005%以上0.0040%以下とする。好ましくは0.0005%以上0.0010%以下である。

20

【0026】

Pb:0.0050%以下

Pbは粒界に偏析しやすい元素である。このため0.0050%以下とする。好ましくは0.0030%未満である。

【0027】

残部はFeおよび不可避不純物からなる。

【0028】

以上が本発明における成分組成であるが、上記した成分組成に加えて、以下の目的に応じて、さらに、不可避不純物の一つであるMoを0.0005%以上0.0050%以下とすることが好ましい。

30

【0029】

Mo:0.0005%以上0.0050%以下(好適条件)

MoはCと結びつきやすく炭化物を形成するため、粒界のC濃度が低くなり、打ち抜き時の割れを発生しやすくなる。よって、上限は0.0050%が好ましい。一方、0.0005%未満とするためには高純度の原料を使用する必要があり、著しく高価となる。このため、下限は0.0005%が好ましい。

40

【0030】

次に、本発明の高けい素鋼板の製造方法について説明する。

本発明の高けい素鋼板の製造方法は、例えば、転炉、電気炉等公知の溶解炉で鋼を溶製し、あるいはさらに取鋼精錬、真空精錬等の二次精錬を経て上述した本発明の成分組成を有する鋼とし、連続鑄造法あるいは造塊-分塊圧延法で鋼片(スラブ)とし、その後、熱間圧延、熱延板焼鈍、酸洗、冷間圧延、仕上げ焼鈍、酸洗等の各工程を経て製造することができる。上記冷間圧延は、1回または中間焼鈍を挟む2回以上の冷間圧延としてもよく、また、冷間圧延、仕上げ焼鈍、酸洗の各工程は、繰り返し行ってもよい。さらに、熱延板焼鈍は省略してもよい。また、高けい素鋼板の製造プロセスは圧延法、急冷凝固法、浸珪法いずれでも構わない。

【0031】

50

なお、対象とする高けい素鋼板は無方向性電磁鋼板、方向性電磁鋼板のいずれも材料でも構わない。

【実施例 1】

【0032】

以下、本発明を実施例により詳細に説明する。

表 1 に示す成分からなる鋼をラボ溶解し、熱間圧延により板厚 1.6 mm とした。引き続きこの熱延板に 980 × 30 s の熱延板焼鈍を施し、酸洗後、板厚 0.10 mm まで冷間圧延し、四塩化珪素のガス中で 1200 × 10 min の仕上焼鈍を行った。結晶粒界の酸素濃度を変化させるため、仕上焼鈍時の露点を 0 ~ -40 の範囲で変化させた。次いで、

これら高けい素鋼板に対して、50 mm × 30 mm の矩形サンプルに室温で打ち抜き加工を施した。ここで金型のクリアランスは 5 % とした。なお、表 1、No1 ~ 21 に対して、不可避不純物である Mo 含有量について分析を行ったところ、0.001 % であった。

上記により得られた各高けい素鋼板のサンプルに対して、粒界の酸素濃度を測定し、割れと磁気特性を調査した。

各鋼板の打抜き性は剪断面を倍率 50 倍の顕微鏡で検査し、割れの発生個数で評価した。6 個以下を良好、3 個以下をさらに良好とした。

JIS C 2550 に準拠する方法（エプスタイン試験方法）により、鉄損（W 1 / 10 k）と磁束密度（B 50）を測定した。

結晶粒界の酸素濃度は、オージェ電子分光装置を用い、真空度 10^{-7} Pa 以下に保った真空容器中において試料を破壊させ、粒界の酸素濃度を測定した。

【0033】

得られた結果を表 1 に示す。

【0034】

10

20

【 表 1 】

No.	mass%										露点 (°C)	粒界酸素量 (at%)	割れ個数	W1/10k (W/kg)	B50 (T)	備考
	C	Si	Mn	P	Al	O	As	Sn	Pb							
1	0.0020	6.50	0.21	0.005	0.001	0.0020	0.0002	0.0005	0.0001	0	40	10	8.5	1.49	比較例	
2	0.0021	6.52	0.21	0.005	0.001	0.0018	0.0002	0.0005	0.0001	-10	35	7	8.4	1.49	比較例	
3	0.0025	6.50	0.20	0.007	0.001	0.0015	0.0002	0.0005	0.0001	-20	23	2	8.3	1.49	本発明例	
4	0.0025	5.80	0.20	0.011	0.001	0.0015	0.0002	0.0005	0.0001	-20	20	0	8.5	1.50	本発明例	
5	0.0025	6.80	0.20	0.011	0.001	0.0015	0.0002	0.0005	0.0001	-20	29	3	7.9	1.48	本発明例	
6	0.0019	6.51	0.21	0.010	0.001	0.0022	0.0002	0.0005	0.0001	-40	5	0	8.3	1.49	本発明例	
7	0.0019	6.51	0.21	0.011	0.002	0.0022	0.0010	0.0002	0.0001	-40	5	0	8.3	1.49	本発明例	
8	0.0019	6.51	0.21	0.012	0.001	0.0022	0.0030	0.0002	0.0001	-40	5	3	8.3	1.49	本発明例	
9	0.0019	6.51	0.21	0.005	0.001	0.0022	0.0050	0.0002	0.0001	-40	5	10	8.3	1.49	比較例	
10	0.0019	6.51	0.21	0.004	0.001	0.0022	0.0002	0.0030	0.0001	-40	5	3	8.3	1.49	本発明例	
11	0.0019	6.51	0.21	0.010	0.001	0.0022	0.0002	0.0050	0.0001	-40	5	10	8.3	1.49	比較例	
12	0.0120	6.52	0.21	0.015	0.001	0.0019	0.0002	0.0005	0.0001	-40	5	1	9.2	1.48	比較例	
13	0.0022	4.50	0.21	0.012	0.001	0.0018	0.0005	0.0005	0.0001	-40	5	0	13	1.60	比較例	
14	0.0018	7.55	0.21	0.012	0.001	0.0022	0.0002	0.0003	0.0001	-40	5	9	7.2	1.41	比較例	
15	0.0019	6.52	1.20	0.012	0.001	0.0020	0.0002	0.0005	0.0001	-40	5	2	7.9	1.45	比較例	
16	0.0025	6.52	0.21	0.022	0.001	0.0018	0.0002	0.0005	0.0001	-40	5	10	8.3	1.49	比較例	
17	0.0026	6.52	0.21	0.013	0.20	0.0016	0.0005	0.0004	0.0001	-40	5	2	9.5	1.47	比較例	
18	0.0023	6.52	0.21	0.012	0.001	0.0150	0.0002	0.0005	0.0001	-40	5	11	8.8	1.49	比較例	
19	0.0023	6.49	0.20	0.007	0.001	0.0016	0.0002	0.0005	0.0030	-40	5	5	8.4	1.49	本発明例	
20	0.0024	6.49	0.20	0.007	0.001	0.0014	0.0002	0.0005	0.0060	-40	5	8	8.7	1.47	比較例	
21	0.0020	6.50	0.18	0.007	0.001	0.0018	0.0002	0.0002	0.0001	-40	5	0	9.1	1.48	比較例	

【 0 0 3 5 】

10

20

30

40

50

表 1 によれば、本発明条件を満足する高けい素鋼板は、磁気特性に優れた上、打ち抜き時の割れを防止することができることがわかる。一方、比較例は、打ち抜き加工性か磁気特性のいずれかが劣っている。

【実施例 2】

【0036】

表 2 に示す成分からなる鋼をラボ溶解し、熱間圧延により板厚 1.6 mm とした。引き続きこの熱延板に 980 × 30 s の熱延板焼鈍を施し、酸洗後、板厚 0.10 mm まで冷間圧延し、四塩化珪素のガス中で 1200 × 10 min の仕上焼鈍を行った。結晶粒界の酸素濃度を変化させるため、仕上焼鈍時の露点を 0 ~ -40 の範囲で変化させた。次いで、これら高けい素鋼板に対して、50 mm × 30 mm の矩形サンプルに室温で打ち抜き加工を施した。ここで金型のクリアランスは 5 % とした。

上記により得られた各高けい素鋼板のサンプルに対して、粒界の酸素濃度を測定し、割れと磁気特性を調査した。なお、粒界の酸素濃度の測定、割れと磁気特性の調査は、実施例 1 と同様の方法にて行った。

【0037】

得られた結果を表 2 に示す。

【0038】

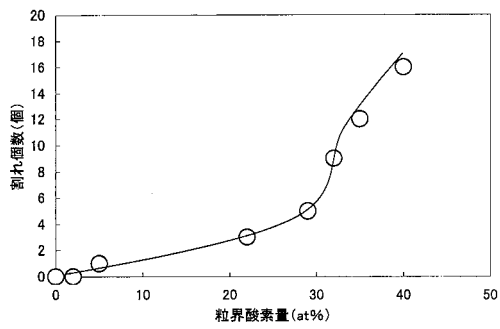
【 表 2 】

No.	mass%											露点 (°C)	粒界酸素量 (at%)	割れ個数	W1/10k (W/kg)	B50 (T)	備考
	C	Si	Mn	P	Al	O	As	Sn	Pb	Mo							
22	0.0025	6.50	0.20	0.010	0.001	0.0020	0.0005	0.0001	0.001	0.001	0.001	-40	5	0	8.3	1.49	本発明例
23	0.0024	6.50	0.20	0.010	0.001	0.0019	0.0005	0.0001	0.004	0.004	0.004	-40	5	5	8.3	1.49	本発明例
24	0.0026	6.50	0.20	0.010	0.001	0.0021	0.0005	0.0001	0.006	0.006	0.006	-40	5	6	8.6	1.49	本発明例
25	0.0020	6.50	0.21	0.005	0.001	0.0020	0.0005	0.0001	0.004	0.004	0.004	0	41	13	8.3	1.49	比較例
26	0.0021	6.52	0.21	0.005	0.001	0.0018	0.0005	0.0001	0.004	0.004	0.004	-10	36	9	8.3	1.49	比較例
27	0.0025	5.80	0.20	0.011	0.001	0.0015	0.0005	0.0001	0.001	0.001	0.001	-50	4	0	8.3	1.49	本発明例
28	0.0025	6.80	0.20	0.011	0.001	0.0015	0.0005	0.0001	0.004	0.004	0.004	-50	4	5	8.3	1.49	本発明例
29	0.0019	6.51	0.21	0.010	0.001	0.0022	0.0005	0.0001	0.006	0.006	0.006	-50	4	6	8.6	1.49	本発明例

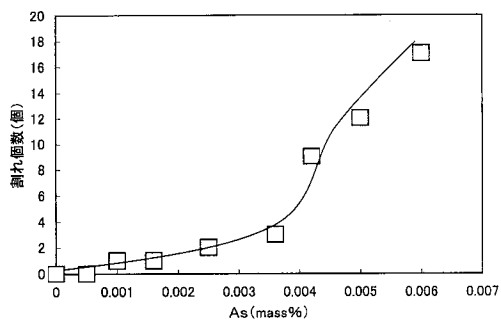
表 2 によれば、本発明条件を満足する高けい素鋼板は、磁気特性に優れた上、打ち抜き時の割れを防止することができることがわかる。一方、比較例は、磁気特性が劣っている。

。

【 図 1 】



【 図 2 】



フロントページの続き

(72)発明者 大久保 智幸

東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 JFEスチール株式会社内

(72)発明者 笠井 勝司

東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 JFEスチール株式会社内

Fターム(参考) 4K033 AA01 AA02 FA13 FA14 HA01 HA03 JA01 KA03

5E041 AA02 CA02 CA04 NN01