



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公告本 (11)證書號數：TW I539011 B

(45)公告日：中華民國 105 (2016) 年 06 月 21 日

(21)申請案號：104119362 (22)申請日：中華民國 104 (2015) 年 06 月 15 日

(51)Int. Cl. : C22C38/14 (2006.01) C21D8/02 (2006.01)

(30)優先權：2014/06/13 日本 2014-122568

2014/10/14 日本 2014-209974

(71)申請人：新日鐵住金股份有限公司 (日本) NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL CORPORATION (JP)

日本

(72)發明人：谷口俊介 TANIGUCHI, SHUNSUKE (JP)；櫻田榮作 SAKURADA, EISAKU (JP)

(74)代理人：惲軼群；陳文郎

(56)參考文獻：

TW 201333221A

CN 103221566A

審查人員：趙偉志

申請專利範圍項數：6 項 圖式數：2 共 44 頁

(54)名稱

軟氮化處理用鋼板及其製造方法與軟氮化處理鋼

(57)摘要

一種軟氮化處理用鋼板，其化學組成係以質量%計，C：0.02%以上且小於 0.07%、Si：0.10%以下、Mn：1.1~1.8%、P：0.05%以下、S：0.01%以下、Al：0.10~0.45%、N：0.01%以下、Ti：0.01~0.10%、Nb：0~0.1%、Mo：0~0.1%、V：0~0.1%、Cr：0~0.2%、剩餘部分：Fe 及不純物，而且具有以下述表示之金屬組織：滿足 $[Mn+Al \geq 1.5]$ ，在鋼板中以析出物方式存在之 Ti、Nb、Mo、V 及 Cr 的合計含量係以質量%計為小於 0.03%，肥粒鐵的面積率為 80%以上，且在從鋼板表面起算 50 μm 位置之肥粒鐵的位錯密度為 $1 \times 10^{14} \sim 1 \times 10^{16} m^{-2}$ 。

發明摘要

※ 申請案號：104119762

C22C 38/14 (2006.01)

※ 申請日：104 6. 15

※IPC 分類：C21D 8/02 (2006.01)

【發明名稱】(中文/英文)

軟氮化處理用鋼板及其製造方法與軟氮化處理鋼

【中文】

一種軟氮化處理用鋼板，其化學組成係以質量%計，C：0.02%以上且小於0.07%、Si：0.10%以下、Mn：1.1~1.8%、P：0.05%以下、S：0.01%以下、Al：0.10~0.45%、N：0.01%以下、Ti：0.01~0.10%、Nb：0~0.1%、Mo：0~0.1%、V：0~0.1%、Cr：0~0.2%、剩餘部分：Fe及不純物，而且具有以下述表示之金屬組織：滿足 $[Mn+Al \geq 1.5]$ ，在鋼板中以析出物方式存在之Ti、Nb、Mo、V及Cr的合計含量係以質量%計為小於0.03%，肥粒鐵的面積率為80%以上，且在從鋼板表面起算50 μm 位置之肥粒鐵的位錯密度為 $1 \times 10^{14} \sim 1 \times 10^{16} m^{-2}$ 。

【英文】

【代表圖】

【本案指定代表圖】：第（ ）圖。(無)。

【本代表圖之符號簡單說明】：

(無)

【本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式】：

(無)

發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動)

【發明名稱】(中文/英文)

軟氮化處理用鋼板及其製造方法與軟氮化處理鋼

【技術領域】

發明領域

[0001]本發明係有關於一種軟氮化處理用鋼板及其製造方法，特別是有關於一種在進行衝壓加工之後，施行軟氮化處理之軟氮化處理用鋼板及其製造方法。又，本發明係有關於一種軟氮化處理鋼，特別是有關於一種氮化處理前的壓製成形性及氮化處理後的疲勞特性優異之軟氮化處理鋼。

【先前技術】

發明背景

[0002]表面硬化處理係在使鋼的表面硬化之同時，使鋼的表面產生殘留應力而提升耐磨耗性及耐疲勞性之處理。作為目前已實用化之代表性的表面硬化處理方法，可舉出浸碳處理及氮化處理。

[0003]浸碳處理，係一種將鋼升溫至 γ 區域為止，來使碳擴散·滲透至鋼的表面之處理，且浸碳後係進行淬火來謀求表面硬化。在浸碳處理，因為升溫至高溫區域為止，所以能夠得到較深的硬化硬度，但是因為浸碳後必須淬火·回火，所以容易在鋼產生應變。因此，例如在汽車傳動等伴隨著旋轉之零件所使用的零件係無法使用浸碳處理後的鋼。

雖然應變係能夠藉由在淬火後進行加壓回火 (press tempering) 回火處理等的特殊處理來除去，但是無法避免伴隨著特殊處理所產生之時間、及成本的損失。

[0004] 另一方面，氮化處理係在A1點以下的溫度使氮擴散·滲透之處理。因為在氮化處理之加熱溫度係較低而為500~550℃，加熱不會引起相變態，所以不會如浸碳處理地在鋼產生應變。但是，其處理時間係顯著地較長而為50~100h，且處理後亦必須將在表面所生成之較脆的化合物層除去等，此時亦無法避免時間、及成本的損失。

[0005] 因此，已開發一種為軟氮化處理之方法。在軟氮化處理，將鋼板加熱至A1變態點以下的溫度，來使氮從鋼板表面起擴散·滲透。此時，藉由使用浸碳性環境，亦附加地使碳擴散·滲透。因為不必如浸碳處理地進行淬火，所以沒有伴隨著相變態之應變。又，因為在比較的低溫進行處理，所以應變亦較小。因此，不會使零件的形狀精確度降低而能夠使鋼板表層硬化。而且，相較於氮化處理，其處理係約一半時間即可完成。因此，近年來，逐漸急速地普及作為在機械構造物所使用之零件的表面硬化處理方法。

[0006] 又，多半的情況是在衝壓加工成為所需要的零件形狀之後，施行軟氮化處理。特別是如汽車的變速機零件之機械構造用零件，從生產性的觀點而言係進行衝壓加工。因此，適合汽車變速機零件等機械構造用零件的素材且具有優異的成形性之軟氮化處理用鋼板的要求提高，以往已提案揭示各式各樣的技術。

[0007]例如，專利文獻1係揭示一種具有優異的冷鍛造性及疲勞特性之氮化鋼構件的製造方法，專利文獻2係揭示一種熱處理應變較少之氮化鋼構件的製造方法。又，專利文獻3及4係揭示一種具有優異的成形性之氮化用鋼板。

[0008]專利文獻5係揭示一種廉價且衝壓加工性良好的軟氮化處理用鋼。又，專利文獻6係揭示一種氮化處理後能夠得到較高的表面硬度及充分的硬化深度之氮化處理用薄鋼板。而且，專利文獻7係揭示一種兼備加工性及疲勞特性之軟氮化處理用鋼板，專利文獻8係揭示一種成形性及軟氮化處理後的強度安定性優異之軟氮化處理用鋼板。

先前技術文獻

專利文獻

[0009]專利文獻1：日本特開平7-286257號公報

專利文獻2：日本特開平8-49059號公報

專利文獻3：日本特開平9-25543號公報

專利文獻4：日本特開平9-25544號公報

專利文獻5：日本特開2003-105489號公報

專利文獻6：日本特開2003-277887號公報

專利文獻7：日本特開2009-68057號公報

專利文獻8：日本特開2012-177176號公報

【發明內容】

發明概要

發明欲解決之課題

[0010]因爲專利文獻1及2所揭示的氮化鋼構件，C含量係較高而爲0.10%以上，又，Cr及V的含量亦較高，所以延伸等的加工性差。在專利文獻3，係將C含量設爲小於0.01~0.08%，在專利文獻4，係使C含量非常低而爲0.01%以下。但是專利文獻3及4所揭示的鋼板，因爲含有大量Cr及V之昂貴的元素，而有製造成本增大之問題。

[0011]又，在專利文獻5，係進行評價軟氮化處理後的表面硬度、硬化深度及密著彎曲性，雖然清楚明白能夠得到優異的結果，但是針對在實際零件的疲勞特性，係未進行研討而殘留改善的餘地。專利文獻6所記載的技術，雖然意圖提升耐久性，但是只進行表面硬度、硬化深度的評價，而未充分地考慮疲勞特性。

[0012]而且，在專利文獻7及8，含有Cr作爲氮化物形成元素且使氮化層硬化之同時，藉由添加極微量的Nb而調整母材強度，能夠改善疲勞特性。但是，專利文獻7及8所記載的鋼板之平面彎曲疲勞強度爲300~420MPa左右，而有無法適用於在負荷重大應力的狀態下所使用的機械構造用零件之問題。

[0013]本發明之目的，係意圖改善在先前技術爲不充分的疲勞特性，提供一種兼備加工性及軟氮化處理後的疲勞特性之軟氮化處理用鋼板及其製造方法。又，本發明係不會使生產性及經濟性低落，而意圖改善在先前技術爲不充分的疲勞特性，其目的係提供一種在軟氮化處理前具有優異的加工性，同時藉由施行軟氮化處理而具備高疲勞特性

之軟氮化處理鋼。

用以解決課題之手段

[0014]本發明者等係針對得到一種兼備軟氮化處理前的加工性及軟氮化處理後的疲勞特性之軟氮化處理鋼之技術，重複專心研討。其結果，得到了以下的知識。

[0015](a)爲了兼具軟氮化處理前的加工性與軟氮化處理後的疲勞特性，必須不損害在軟氮化處理前之成形性，以能夠藉由軟氮化處理而得到所需要的表面硬度、硬化深度及母材硬度之方式，調整鋼板的合金組成及金屬組織。

[0016](b)爲了使在軟氮化處理前之鋼板的加工性成爲良好，必須使肥粒鐵成爲主體的金屬組織。藉由含有適量的Mn及Al作爲鋼板的成分組成，且適當地配合成分組成而選擇製造條件，能夠使肥粒鐵的面積率達預定量以上。

[0017](c)藉由將Mn及Al的含量調整成爲適當的範圍，(Mn,Al)氮化物係在軟氮化處理中產生析出，而能夠得到充分的表面硬度。

[0018](d)爲了控制在軟氮化處理之氮化物析出，調整在鋼板表面之肥粒鐵的位錯密度係重要的。因爲藉由提高在鋼板表面之肥粒鐵的位錯密度，能夠促進氮化物析出。

[0019](e)又，此時所析出的氮化物之結晶組成，係成爲Mn爲主體的 M_3N_2 (M係表示合金元素)。相較於具有其他的結晶組成之 M_1N_1 的氮化物， M_3N_2 之形成氮化物所必要的氮爲較少。因此，氮能夠擴散至鋼板之較深的位置爲止，而能夠得到較深的硬化深度。

[0020](f)而且，藉由在軟氮化處理中使碳化物在鋼板內部析出，藉由析出強化能夠提高母材硬度。因此，在軟氮化處理前的鋼板，碳化物形成元素亦即Ti、Nb、Mo、V及Cr，必須一定量以上為固溶狀態。

[0021](g)為了提升在軟氮化處理後之疲勞特性，形成在從鋼的最表面起算 $50\text{ }\mu\text{ m}$ 的深度之硬度為維氏硬度600HV以上，而且硬化深度為0.35mm以上之硬化層係重要的。

[0022](h)為了得到需要的表面硬度及硬化深度，特別是必須限制鋼中的氮化物形成元素之含量。

[0023](i)而且，針對各種軟氮化處理鋼的表層部，使用透射型電子顯微鏡(TEM)進行解析之結果，發現必須控制藉由軟氮化處理所形成的氮化物之中，在從鋼的最表面起算 $50\text{ }\mu\text{ m}$ 的深度位置之氮化物的析出形態、組成及個數密度。

[0024]本發明係將上述的知識作為基礎而進行，而且將下述的鋼材及其製造方法與軟氮化處理鋼設作要旨。

[0025][1]一種軟氮化處理用鋼板，其化學組成係以質量%計，

C：0.02%以上且小於0.07%、

Si：0.10%以下、

Mn：1.1~1.8%、

P：0.05%以下、

S：0.01%以下、

Al：0.10~0.45%、

N : 0.01%以下、

Ti : 0.01~0.10%、

Nb : 0~0.1%、

Mo : 0~0.1%、

V : 0~0.1%、

Cr : 0~0.2%、

剩餘部分：Fe及不純物，而且

具有以下述表示之金屬組織：

滿足下述(i)式，

在鋼板中以析出物方式存在之Ti、Nb、Mo、V及Cr的合計含量係以質量%計為小於0.03%，肥粒鐵的面積率為80%以上，且在從鋼板表面起算50 μ m位置之肥粒鐵的位錯密度為 $1 \times 10^{14} \sim 1 \times 10^{16} \text{ m}^{-2}$ ，

$$\text{Mn} + \text{Al} \geq 1.5 \quad \dots (i)$$

但是，式中的各元素記號係表示在鋼板中所含有的各元素之含量(質量%)。

[0026] [2]如[1]之軟氮化處理用鋼板，其中前述化學組成係以質量%計，含有選自下列之1種以上，

Nb : 0.005~0.1%、

Mo : 0.005~0.1%、

V : 0.005~0.1%、

Cr : 0.005~0.2%。

[0027] [3]一種軟氮化處理用鋼板之製造方法，係將具

有如[1]或[2]的化學組成之鋼素材，加熱至1150℃以上的溫度為止之後，開始軋軋且在900℃以上的精加工溫度結束軋軋，

冷卻後，藉由在470~530℃的溫度區域進行捲取，使肥粒鐵的面積率成為80%以上，隨後，

施行酸洗，酸洗後，在軋縮率為0.5~5.0%，將軋軋機荷重除以鋼板板寬所得到的線荷重 $F(\text{kg/mm})$ 與在鋼板的長度方向所負荷之每單位面積的荷重 $T(\text{kg/mm}^2)$ 之比亦即 $F/T(\text{mm})$ 成為8000以上之條件下，施行平整(skin pass)軋軋。

[0028][4]一種軟氮化處理鋼，

化學組成係以質量%計，

C：0.02%以上且小於0.07%、

Si：0.10%以下、

Mn：1.1~1.8%、

P：0.05%以下、

S：0.01%以下、

Al：0.10~0.45%、

Ti：0.01~0.10%、

Nb：0~0.1%、

Mo：0~0.1%、

V：0~0.1%、

Cr：0~0.2%、

剩餘部分：Fe及不純物，而且

在從最表面起算 $50\text{ }\mu\text{ m}$ 的深度位置，氮化物係在肥粒鐵結晶中的 $\{001\}$ 面上析出，

在各氮化物之最大長度的平均值為 $5\sim 10\text{ nm}$ ，

氮化物的個數密度為 $1\times 10^{24}\text{ m}^{-3}$ 以上。

[0029][5]如[4]之軟氮化處理鋼，其中前述化學組成係以質量%計，含有選自下列之1種以上，

Nb：0.01~0.1%、

Mo：0.01~0.1%、

V：0.01~0.1%及

Cr：0.01~0.2%。

[0030][6]如[4]之軟氮化處理鋼，其中在構成氮化物之金屬元素中所佔有的Mn濃度為80at%以上。

[0031]又，在本發明之「軟氮化處理用鋼板」，亦包含帶狀鋼亦即「鋼帶」。又，在軟氮化處理後之鋼的表面，依照表面處理條件而有形成數十 $\mu\text{ m}$ 左右的氮化鐵層之情形，在本發明之所謂「鋼的最表面」，係指含有上述的氮化鐵層之鋼的表面。

發明效果

[0032]依照本發明，係不會損害生產性及經濟性，而在軟氮化處理前能夠得到具有優異的延伸凸緣性及擴孔性等的壓製成形性之軟氮化處理用鋼板。又，在軟氮化處理後，係能夠得到從表面起形成有充分厚度的硬化層且具有優異的疲勞特性之軟氮化處理鋼。具有此種特性之本發明的軟氮化處理用鋼板，在加工成為預定零件形狀之後，施行軟

氮化處理而能夠適合使用作為汽車用零件等的一般構造用零件。又，本發明的軟氮化處理鋼，係適合使用作為汽車用零件等的一般構造用零件。

[0033]在此，所謂「衝壓加工」，係指將深衝加工、彎曲加工、衝孔加工、引縮加工等總稱之加工技術，所謂「具有優異的衝壓加工性」，係指即便未在鋼材附加大的強度亦能夠衝壓加工，而且經施行衝壓加工時，在壓製成形體不會產生實質上可能成為缺陷之裂紋等。

【圖式簡單說明】

[0034]圖1係顯示藉由透射型電子顯微鏡(TEM)能夠觀察之肥粒鐵中的氮化物之影像圖。

圖2係顯示從氮化物及母相所取得之能量分散型X射線光譜法(TEM-EDS)的光譜之圖。

【實施方式】

用以實施發明之形態

[0035]以下，詳細地說明本發明的各必要條件。

[0036] 1.化學組成

各元素的限定理由係如下述。又，針對在以下的說明之含量「%」，係意味著「質量%」。

[0037]C：0.02%以上且小於0.07%

C係藉由與碳化物形成元素鍵結而析出碳化物，來使強度提升之元素且有助於鋼的衝壓加工性及軟氮化處理後的母材硬度。C含量越低，雪明碳鐵的析出密度變為越小且衝壓加工性變為良好，但是另一方面，軟氮化處理中的碳化

物之析出量變少，在軟氮化處理後的鋼板無法得到充分的母材硬度。因此，C含量係設為0.02%以上。另一方面，在鋼含有0.07%以上的C時，因為鋼的衝壓加工性變差，所以C含量係小於0.07%。C含量係以0.03%以上為佳，以0.06%以下為佳。

[0038] Si：0.10%以下

Si係在製鋼階段作為脫氧劑有用的元素，但是在氮化處理，係對提升表面硬度沒有幫助且使硬化深度變淺。因此Si含量係設為0.10%以下。Si含量係以0.05%以下為佳。又，欲得到作為脫氧劑之效果時，Si含量係以0.01%以上為佳。

[0039] Mn：1.1~1.8%

Mn係藉由軟氮化處理來形成氮化物，而具有提高表面硬度之效果，在本發明係非常重要的元素。Mn含量小於1.1%時，藉由氮化物形成來提高表面硬度之效果係不充分，在軟氮化處理後無法得到所需要的硬度分布，且無法得到良好的耐磨耗性及疲勞特性。另一方面，Mn含量大於1.8%時，中心偏析的影響係顯著且使鋼板的加工性低落。因此，Mn含量係設為1.1~1.8%。Mn含量係以1.2%以上為佳，以1.7%以下為佳。

[0040] P：0.05%以下

P係在熔鐵爐(cupola)所含有的不純物，而且是在晶界產生偏析且隨著含量增加而使韌性低落之元素。因此，P含量係以較低為佳。因為P含量大於0.05%時，對加工性造成不良影響，所以限制為0.05%以下。特別是考慮擴孔性及

熔接性時，P含量係以0.02%以下為佳。又，因為在操作上使P成為0%係困難的，所以不包含0%。

[0041]S：0.01%以下

S係在熔鐵爐所含有的不純物，含量太多時使韌性低落，不僅是熱軋時引起裂紋，而且亦使擴孔性劣化。因此S的含量係應該極力減低。因為S含量為0.01%以下時，係能夠容許的範圍，所以限制為0.01%以下。又，因為在操作上使S成為0%係困難的，所以不包含0%。

[0042]Al：0.10~0.45%

Al係在軟氮化處理具有形成氮化物而提高表面硬度之效果，在本發明係非常重要的元素。因此，Al含量必須設為0.10%以上。另一方面，Al含量大於0.45%時，硬化深度變小且疲勞特性差。因此，Al含量係設為0.10~0.45%。Al含量係以0.15%以上為佳，以0.40%以下為佳。

[0043]N：0.01%以下

N係在軟氮化處理前含有大於0.01%時，在鋼板與Al或Ti鍵結而形成氮化物，致使鋼板的加工性劣化。又，因為在鋼板之固溶狀態的Ti變少，致使在軟氮化處理後無法得到充分的母材硬度。因此，N含量係設為0.01%以下。N含量係以0.008%以下為佳。又，軟氮化處理後，係藉由N在處理中產生擴散而產生板厚方向的濃度梯度。軟氮化處理後的N，係除了在Fe中產生固溶以外，亦形成氮化析出物且析出物密度係依存於N濃度。而且疲勞特性係不依存於固溶N，而是在滿足析出密度及尺寸時能夠確保。軟氮化處理鋼

係含有固溶在Fe中之N、及形成氮化析出物之N。但是，請求項不是規定N量，而是規定氮化物的個數密度。又，在後述的表3，係記載從表層起算50 μ m深度位置的固溶N量(EPMA)，藉由能夠得知沒有依存性。

[0044] Ti：0.01~0.1%

在軟氮化處理中，Ti係在母材以碳化物的方式析出而具有提高母材硬度之效果，在本發明係非常重要的成分。Ti含量小於0.01%時，上述效果係不充分。另一方面，Ti含量大於0.1%時，爲了Ti碳氮化物在熱軋產生熔體化之加熱溫度較高、加熱時間變長且使製造成本上升。因此，Ti含量係設爲0.01~0.1%。Ti含量係以0.02%以上爲佳，以0.09%以下爲佳。

[0045] Nb：0~0.1%

Mo：0~0.1%

V：0~0.1%

Cr：0~0.2%

在軟氮化處理，Nb、Mo、V及Cr係在母材形成碳化物而具有提高母材硬度的效果之元素。因而，亦可含有選自上述的元素之1種以上。但是Nb、Mo、V含有大於0.1%時，Cr含有大於0.2%時，爲了在熱軋產生熔體化之加熱溫度較高、加熱時間變長且使製造成本上升。因此，各元素的含量必須各自設爲0.1%以下。欲得到上述的效果時，以將選自該等元素之1種以上的含量設爲0.005%以上爲佳。又，複合性地含有上述的元素之中的2種以上時，其合計含量係以

設為0.005~0.1%為佳。

$$[0046] \text{Mn} + \text{Al} \geq 1.5 \quad \cdots (i)$$

但是，式中的各元素記號，係表示在鋼板中所含有的各元素之含量(質量%)。

為了藉由軟氮化處理來得到充分的表面硬度，只有含量為落入上述規定的範圍而含有各元素係不充分的，而必須滿足上述(i)式。因為在軟氮化處理所形成之(Mn、Al)氮化物的析出量較少時，係無法得到充分地提高表面硬度。

[0047] 本發明的鋼材，係具有如以下所表示之化學組成：從上述的C至Cr為止之元素；及由Fe及不純物所構成之剩餘部分。

[0048] 在此所謂「不純物」，係意味在工業上製造鋼板時，由於礦石、廢料等的原料、製造步驟之各種主要原因而混入之成分，且係在不對本發明造成不良影響的範圍而被容許者。

[0049] 在軟氮化處理前之軟氮化處理用鋼板，以析出物的方式存在之Ti、Nb、Mo、V及Cr的合計含量：小於0.03%

在本發明，就使軟氮化處理後的鋼板之疲勞特性提升之觀點而言，在鋼中以析出物的方式存在之Ti、Nb、Mo、V及Cr的合計含量係成為重要的指標。為了使疲勞特性成為良好，不僅是鋼板表面的硬度(表面硬度)較高，而且鋼板內部的硬度(母材硬度)亦必須變高。在軟氮化處理中，藉由使鋼板內部析出碳化物，能夠藉由析出強化來提高母材硬度。因此在軟氮化處理用鋼板，碳化物形成元素之Ti、Nb、Mo、

V及Cr，必須一定量以上為固溶狀態。

[0050]以析出物的方式存在之Ti、Nb、Mo、V及Cr的合計含量，係以質量%計為0.03%以上時，固溶濃度變小且無法得到充分的析出強化，而且母材硬度變小且疲勞特性亦劣化。因而，在本發明，係將在鋼板中存在之析出物中的Ti、Nb、Mo、V及Cr之合計含量，設為以質量%計為小於0.03%。

[0051]又，以析出物的方式存在之Ti、Nb、Mo、V及Cr的含量，係藉由以下的萃取殘渣分析來求取。從軟氮化處理用鋼板採取試片且浸漬在電解液(10%乙醯丙酮-1%氯化四甲基銨-剩餘部分甲醇)中而進行定電流電解，隨後，使用過濾直徑 $0.2\ \mu\text{m}$ 的過濾器進行過濾而得到萃取殘渣(碳化物)。將該萃取殘渣溶解而溶液化之後，藉由ICP發光光譜法(ICP-OES)分析而各自測定溶液中的Ti、Nb、Mo、V及Cr之濃度。然後，將得到的濃度除以電解後的試片之質量，來算出在鋼板中以析出物的方式存在之Ti、Nb、Mo、V及Cr的含量。

[0052]2.軟氮化處理前之軟氮化處理用鋼板的金屬組織

本發明的鋼板係除了上述成分組成以外，具有下述表示之組織：肥粒鐵的面積率為80%以上，且在從鋼板表面起算 $50\ \mu\text{m}$ 位置之肥粒鐵的位錯密度為 $1\times 10^{14}\sim 1\times 10^{16}\text{m}^{-2}$ 。

[0053]肥粒鐵的面積率：80%以上

在本發明，為了使鋼板的加工性良好化，肥粒鐵的面

積率係重要的指標。含有肥粒鐵以外的其他金屬組織且肥粒鐵的面積率為小於80%時，鋼板的延伸及擴孔性之並存係變為困難。所謂其他金屬組織，係指沃斯田鐵、波來鐵、變韌鐵、麻田散鐵。又，為了平衡性良好地兼具強度、延伸及擴孔性，係以將肥粒鐵結晶粒徑設為小於 $20\mu\text{m}$ 為佳。

[0054]從鋼板表面起算 $50\mu\text{m}$ 位置的肥粒鐵之位錯密度： $1\times 10^{14}\sim 1\times 10^{16}\text{m}^{-2}$

為了控制在軟氮化處理之氮化物析出，在從鋼板表面起算 $50\mu\text{m}$ 位置的肥粒鐵之位錯密度，係非常重要的指標。提高鋼板表層之位錯密度時，氮化物係在位錯上優先地生成，能夠促進析出且能夠增大表面硬度。但是，鋼板表層之位錯密度太高時，加工性劣化且成形成為零件形狀係變為困難。因而，在本發明，為了在軟氮化處理得到充分的表面硬度，係將在從鋼板表面起算 $50\mu\text{m}$ 位置之位錯密度設為 $1\times 10^{14}\text{m}^{-2}$ 以上，且為了確保鋼板的加工性，係設為 $1\times 10^{16}\text{m}^{-2}$ 以下。

[0055]使鋼板表面的肥粒鐵之位錯密度上升時，位錯係被導入至板厚方向中心為止時，加工性有變差之可能性。因此，以不使在板厚方向中心之位錯密度增加為佳。

[0056]位錯密度係能夠如下述求取。將鋼板進行機械研磨之後，藉由電解研磨而研磨至預定板厚方向的位置為止。從使用X射線繞射法所得到的 $\{110\}$ 、 $\{211\}$ 、 $\{220\}$ 之尖峰的積分強度，藉由Williamson-Hall標繪而算出晶格應變 ε 之後，基於下述的式而算出位錯密度 ρ 。在此， b 係伯格斯

向量(Burgers vector)。

$$\rho=(14.4\times\varepsilon^2)/b^2$$

Williamson-Hall標繪，係例如揭示在眾所周知的文獻之「鐵與鋼、Vol.100(第100卷)(2014年)No.10 田中等人」。

[0057] 3.軟氮化處理後之軟氮化處理鋼的氮化物

如上述，爲了提升軟氮化處理鋼的疲勞特性，在從鋼的最表面起算 $50\mu\text{m}$ 的深度位置之硬度，係將試驗力設爲 0.3kgf 時之維氏硬度爲 600HV 以上，且形成硬化深度爲 0.35mm 以上之硬化層爲重要的。爲了形成此種硬化層，在本發明的軟氮化處理鋼，係在至少從鋼的最表面起算 $50\mu\text{m}$ 的深度位置，板狀的氮化物必須在肥粒鐵結晶中的 $\{001\}$ 面上析出。而且必須如以下所表示地規定上述的氮化物之析出形態、組成及個數密度。

[0058]因爲在肥粒鐵結晶中的 $\{001\}$ 面上所析出的氮化物，其形狀爲板狀，所以在肥粒鐵的結晶晶格內生成重大的整合應變，而對硬度上升有效地起作用。爲了有效地發揮該作用，必須將上述氮化物的最大長度設爲 $5\sim 10\text{nm}$ 。最大長度小於 5nm 時，無法在肥粒鐵的結晶晶格內生成充分大的整合應變。另一方面，最大長度大於 10nm 時，因爲非整合性變大，硬度反而低落。

[0059]又，在本發明因氮化處理而析出的氮化物，係含有 Mn 、 Al 及 N 作爲主成分，且顯示 $(\text{Mn},\text{Al})_x\text{N}_y$ 的結晶組成。在軟氮化處理鋼中所存在的氮化物，係成爲具有 $\eta\text{-Mn}_3\text{N}_2$ 型的結晶構造之 $(\text{Mn},\text{Al})_3\text{N}_2$ 而析出時，構成氮化物之包含

Mn及Al的金屬元素之中，Mn濃度係成爲80at%以上。相較於具有NaCl型的結晶構造之 $(\text{Mn},\text{Al})_1\text{N}_1$ ，因爲該氮化物從鋼表面侵入後之固溶N析出時的消耗爲較少，所以在相同軟氮化處理時間N係侵入至更深爲止，使得硬化深度爲變大。因此，在從最表面起算 $50\text{ }\mu\text{m}$ 的深度位置存在的氮化物在金屬元素中佔有之Mn濃度，係設爲80at%以上。

[0060]先前，Mn係作爲氮化物形成元素而被認爲只具有較弱的作用。但是，藉由使其與氮化物形成作用較強的Al同時在鋼中含有預定量，能夠促進形成以Mn及Al作爲主體之氮化物。該氮化物係只形成在極表面，隨後不太顯現阻礙氮擴散至內部之作用。因此，能夠有效地使氮化物形成在從鋼表面起至充分的深度區域爲止，而能夠得到較大的硬化深度。

[0061]而且，爲了在從鋼的最表面起算 $50\text{ }\mu\text{m}$ 的深度位置得到預定硬度，必須使具有上述析出形態之氮化物以高密度分散在表層中。因此，將上述的氮化物之個數密度設爲 $1\times 10^{24}\text{m}^{-3}$ 以上。又，爲了進一步提高藉由表層硬化來提升疲勞特性，以將上述氮化物的個數密度設爲 $2\times 10^{24}\text{m}^{-3}$ 以上爲佳。

[0062]又，在從鋼的最表面起算 $50\text{ }\mu\text{m}$ 的深度位置之上述氮化物的最大長度及個數密度，例如能夠藉由使用TEM而觀察表層的硬化層中之析出物且進行解析來定量。TEM觀察，係以在肥粒鐵的[001]方向係與電子射束的入射方向成爲平行之條件下進行觀察爲佳。又，最大長度係以在所

觀察的視野所含有的氮化物之平均值來進行評價為佳。又，氮化物係以拍攝 $50\text{nm} \times 50\text{nm}$ 面積之視野5視野，合計抽取至少50個以上的氮化物且求取平均值為佳。

[0063]在求取氮化物的個數密度時，係能夠各自計算在肥粒鐵結晶中的 $\{001\}$ 面上所析出的氮化物，係在 (001) 面上、 (100) 面上、 (010) 面上的氮化物個數且求取其總數。但是，觀察 (001) 面上所析出的氮化物係困難時，能夠計算 (100) 面、 (010) 面上的氮化物個數，且將其總數乘以1.5倍來求取。又，所觀察的區域的TEM試料之厚度，係能夠使用EELS(電子能量損失光譜; Electron Energy Loss Spectroscopy)的Log-ratio法而測定。能夠將所觀察到的氮化物個數，除以體積來求取個數密度，其中該體積係藉由觀察視野的面積與厚度之乘積而求得。算出個數密度時，係以100~200萬倍的倍率從不同結晶粒拍攝來至少5視野以上且求取在各自視野之個數密度，而且以採用在各視野所求得的個數密度之平均值為佳。

[0064]又，在本發明，作為在構成氮化物之金屬元素中佔有的Mn濃度，係採用藉由TEM-EDS(能量散射型X射線光譜; Energy Dispersion X-ray Spectroscopy)之元素分析所定量得到之值。

[0065]又，提供TEM觀察之試料，係使用電解研磨法、FIB lift-out(FIB取樣)法、Ar離子研磨法等通常的TEM試料調整法來製造即可。

[0066]4.製造方法

在本發明之軟氮化處理用鋼板的製造方法係沒有特別限制，例如能夠藉由對具有上述的化學組成之鋼素材，施行以下所顯示的處理來製造。

[0067]將上述鋼素材加熱至1150℃以上的溫度為止之後，開始輥軋且在900℃以上的精加工溫度結束輥軋。藉由加熱爐使鋼胚之輥軋前加熱溫度成為1150℃以上，能夠使鋼中所含有的析出元素充分地熔體化。又，因為加熱溫度高於1300℃時，沃斯田鐵粒徑粗大化，所以加熱溫度係以1300℃以下為佳。又，輥軋精加工溫度小於900℃時，變形抵抗變大且輥軋機的負荷增大。

[0068]在輥軋後且冷卻後，於470~530℃的溫度區域進行捲取。又，從輥軋後至捲取之期間，從冷卻開始起算4.0秒以內的時間，係以在冷卻速度CR(℃/s)與下述(ii)式所定義的CeqIIW之值之關係，為滿足下述(iii)式之條件下進行冷卻為佳。

$$CeqIIW = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 \quad \cdots (ii)$$

$$80 - 190 \times CeqIIW \leq CR \leq 115 - 230 \times CeqIIW \quad \cdots (iii)$$

但是，式中的各元素記號係表示在鋼板中所含有的各元素之含量(質量%)。

[0069]在冷卻步驟之冷卻速度CR(℃/s)太低時，在冷卻中的高溫抑制碳化物析出係有變為困難之可能性，太高時，因為變態溫度變為太低而產生變韌鐵變態，致使肥粒鐵面積率低落，且鋼板強度變大而有加工性低落的可能性之緣故。

[0070]爲了防止形成麻田散鐵及變韌鐵的低溫變態組織所致之成形性低落，捲取溫度係設爲 470°C 以上爲佳。另一方面，捲取溫度大於 530°C 時，因爲肥粒鐵中的碳化物進行析出，而且接著在軟氮化處理，碳化物粗大化，所以母材硬度變低。因此捲取溫度係設爲 $470\sim 530^{\circ}\text{C}$ 爲佳。

[0071]鋼板冷卻之後，施行酸洗。酸洗的目的係除去鋼板表面的鏽垢除去，使用眾所周知的方法來進行即可。

[0072]對酸洗後的鋼板施行平整軋軋。平整軋軋的目的係不僅是藉由導入可動位錯來抑制降伏延伸，而且能夠增加鋼板表面的位錯密度。

[0073]在平整軋軋的軋縮率係設爲 $0.5\sim 5.0\%$ 爲佳。軋縮率小於 0.5% 時，有無法抑制降伏延伸之可能性，大於 5.0% 時，由於位錯係被導入至板厚方向中心爲止，而有延展性低落的可能性之緣故。

[0074]又，在平整軋軋，係將軋軋機荷重除以鋼板板寬所得到的線荷重 $F(\text{kg}/\text{mm})$ 與鋼板在長度方向所負荷之每單位面積的荷重 $T(\text{kg}/\text{mm}^2)$ 之比亦即 $F/T(\text{mm})$ 設爲8000以上爲佳。 F/T 小於8000時，因爲鋼板表層的位錯密度增加較小，軟氮化處理時促進氮化物的析出之效果不充分，而有無法得到所需要的表面硬度之可能性。

[0075]其次，說明對使用該等製造方法所得到的氮化處理用鋼材進行氮化處理時之較佳處理條件。通常，將上述氮化處理用鋼材壓製成形爲汽車用零件或機械構造用零件等之後，係藉由將該零件進行軟氮化處理來使表層硬化。

針對本發明之軟氮化處理鋼的製造方法係沒有特別限制，例如能夠藉由對使用上述製造方法所得到的軟氮化處理用鋼材施行經調整處理條件之軟氮化處理，使其生成預定析出形態的氮化物至目標深度為止來製造。又，從品質和製造成本的觀點而言，係為軟氮化處理方法，係以採用氣體軟氮化處理方法為佳。

[0076] 氣體軟氮化處理，係以在 $\text{NH}_3 : \text{N}_2 : \text{CO}_2$ 的氣體環境下，於 $560 \sim 580^\circ\text{C}$ 的加熱溫度及以 $1 \sim 3\text{h}$ 的處理時間來進行為佳。提高軟氮化處理時的加熱溫度、或增加處理時間，係與生產性低落及成本增加有關聯。又，亦引起析出氮化物的粗大化等、阻礙在肥粒鐵結晶晶格內產生整合應變且顯現非整合性等，亦有反而成為產生硬度低落的原因之情形。因而，就提升生產性及減低成本而言，係以在較低的加熱溫度以較短的處理時間進行軟氮化處理為佳。

[0077] 藉由使用上述的方法，能夠以高密度從表層起偏布充分的深度範圍生成如上述的析出形態之氮化物。當然不用說，軟氮化處理係不限定為如上述的氣體軟氮化處理，藉由調整將本發明所規定的成分組成之鋼材進行軟氮化處理時的條件，而能夠形成本發明所限定的表層硬化層即可。

實施例

[0078] 以下，藉由實施例而更具體地說明本發明，但是本發明係被該等實施例限定。

[0079] 熔製具有表1所表示的化學組成之鋼且鑄造而得

到鋼素材。將該等鋼素材在表2所顯示的條件下進行熱軋而製造鋼板之後，使用7%鹽酸水溶液將鏽垢除去且在表2所顯示的條件下施行平整軋軋，來製成板厚2.9mm的鋼板。

[0080] [表1]

鋼	化學組成 (質量%、剩餘部分：Fe及不純物)													(ii)式 [†] 右邊值	(iii)式 [‡] 最左邊值	(iii)式 [‡] 最右邊值
	C	Si	Mn	P	S	Al	N	Ti	Nb	Mo	V	Cr	Mn+Al			
A	0.005 *	0.04	1.26	0.008	0.0030	0.32	0.0036	0.07					1.58	0.22	39	65
B	0.04	0.09	0.60 *	0.007	0.0036	0.38	0.0017	0.05					0.98	0.14	53	83
C	0.03	0.01	2.30 *	0.008	0.0031	0.28	0.0040	0.05					1.58	0.41	1	20
D	0.05	0.01	1.28	0.008	0.0050	0.03 *	0.0014	0.07					1.58	0.26	30	54
E	0.04	0.05	1.45	0.007	0.0035	0.70 *	0.0036	0.06					1.58	0.28	26	50
F	0.03	0.06	1.32	0.006	0.0024	0.29	0.0025	0.003 *					1.61	0.25	33	58
G	0.05	0.06	1.30	0.008	0.0021	0.33	0.0050	0.05					1.63	0.27	29	54
H	0.06	0.07	1.66	0.008	0.0027	0.22	0.0016	0.05			0.01	0.01	1.88	0.34	15	37
I	0.04	0.04	1.54	0.007	0.0031	0.20	0.0015	0.07	0.02				1.75	0.30	24	47
J	0.05	0.05	1.50	0.008	0.0044	0.19	0.0026	0.04		0.01	0.01		1.68	0.30	22	45

* 意味著脫離本發明所規定的範圍。

[†] $CeqIW = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 \dots (ii)$ [‡] $80 - 190 \times CeqIW \leq CR \leq 115 - 230 \times CeqIW \dots (iii)$

[0081] [表2]

試驗號碼	鋼	軋軋條件		冷卻條件		平整軋軋條件			
		加熱溫度 (°C)	精加工溫度 (°C)	冷卻速度 (°C/s)	捲取溫度 (°C)	軋縮率 (%)	F #1 (kg/mm)	T #2 (kg/mm ²)	F/T (mm)
1	A *	1250	940	45	500	1.2	1028	0.112	9162
2	B *	1230	950	60	500	1.2	1000	0.109	9156
3	C *	1230	920	10	500	1.2	964	0.112	8593
4	D *	1240	930	45	500	1.2	1013	0.108	9338
5	E *	1250	920	40	500	1.2	958	0.108	8856
6	F *	1250	930	45	500	1.2	964	0.110	8721
7	G	1240	940	35	500	1.2	968	0.111	8680
8	H	1250	950	25	500	1.2	996	0.113	8840
9	I	1250	920	35	500	1.2	1072	0.108	9929
10	J	1240	930	30	500	1.2	1072	0.113	9479
11	G	1050	920	40	500	1.2	985	0.105	9341
12	G	1230	930	10	500	1.2	1033	0.114	9081
13	G	1230	920	70	500	1.2	1024	0.111	9227
14	G	1240	940	40	400	1.2	1070	0.107	10025
15	G	1250	930	40	600	1.2	1057	0.112	9433
16	G	1250	920	40	500	1.2	870	0.115	7580

* 意味著脫離本發明所規定的範圍。

#1 意味著將軋軋機荷重除以鋼板板寬所得到的線荷重。

#2 意味著在鋼板的長度方向所負荷之每單位面積的荷重。

[0082] 首先，使用切斷機從上述鋼板切取測定肥粒鐵面積率的試片之後，藉由機械研磨將對軋軋方向為垂直的剖面精加工成為鏡面之後，藉由NITAL(硝酸乙醇腐蝕液)腐蝕而使組織出現。使用光學顯微鏡在板厚方向1/4位置，以倍率1000倍在板厚方向90 μ m、軋軋方向120 μ m的範圍觀察5視野，將所拍攝之拍攝視野中的全部肥粒鐵面積除以全體的面積所得到的值採用作為肥粒鐵的面積率。

[0083] 其次，從上述鋼板使用切斷機切取提供位錯密度測定的試片之後，藉由放電加工而成形為縱10mm、橫10mm。藉由機械研磨而將表面精加工成為鏡面之後，藉由電解研

磨而將因機械研磨而被導入的應變層除去，且進行研磨至從鋼板表面起算 $50\text{ }\mu\text{m}$ 的深度位置為止。從使用X射線繞射法所得到的 $\{110\}$ 、 $\{211\}$ 、 $\{220\}$ 之尖峰的積分強度，藉由Hall標繪而算出晶格應變 ε 之後，基於下述的式而算出位錯密度 ρ 。在此， b 係伯格斯向量且設為 $0.25\times 10^{-9}\text{m}$ 。

$$\rho=(14.4\times\varepsilon^2)/b^2$$

[0084]而且，從上述鋼板採取用以評價析出物之試片且提供萃取殘渣分析。將所採取的試片浸漬在電解液(10%乙醯丙酮-1%氯化四甲基銨-剩餘部分為甲醇)中而進行定電流電解，隨後，使用過濾直徑 $0.2\text{ }\mu\text{m}$ 的過濾器進行過濾而得到萃取殘渣。將該萃取殘渣溶解而溶液化之後，藉由使用ICP發光光譜法(ICP-OES)進行分析，而各自測定溶液中之Ti、Nb、Mo、V及Cr的濃度，進而將其除以電解後的試片之質量，來算出在鋼板中以析出物的方式存在之Ti、Nb、Mo、V及Cr的含量。

[0085]而且，從上述鋼板採取將軋軋方向設作拉伸方向之JIS 5號拉伸試片且依據JIS Z 2241(2011)進行拉伸試驗，來測定拉伸強度(TS)及斷裂延伸率(El)。又，使用 60° 圓錐衝頭進行擴孔試驗來測定擴孔率(λ)。

[0086]其次，從上述鋼板採取硬度測定用試片及平面彎曲試片，在溫度為 570°C 且 $\text{NH}_3:\text{N}_2:\text{CO}_2=50:45:5$ 的環境氣體中將該等試片保持2h之後，施行在油溫 80°C 油冷卻之氣體軟氮化處理。

[0087]使用硬度測定用試片，針對從軟氮化處理後的鋼

板表面起算50 μ m的位置及板厚中央部，進行測定維氏硬度。硬度試驗的條件係設為試驗力0.3kgf(2.942N)且求取5處的測定結果之平均值。將從鋼板表面起算50 μ m的位置之硬度設為表面硬度，將板厚中央的硬度設為母材硬度。又，將從鋼板表面起算至比母材硬度更硬50Hv的深度為止之距離設為硬化深度。

[0088]針對疲勞特性，係依據JIS Z 2275(1978)所記載之金屬平板的平面彎曲疲勞試驗，使用申克(Schenk)式平面彎曲疲勞試驗機來進行評價。設為頻率：25Hz、應力比：R=-1，疲勞強度係依照重複次數：10⁷次時間強度來進行評價。

[0089]將肥粒鐵面積率、位錯密度、以析出物的方式存在之Ti、Nb、Mo、V及Cr的合計含量及機械特性的測定結果以及疲勞特性的評價結果顯示在表3。又，在本實施例，係將EI為25%以上且 λ 為120%以上者評定為加工性良好。又，將表面硬度為600Hv以上，母材硬度為180Hv以上且硬化深度為0.35mm以上評定為硬化特性良好。而且，針對平面彎曲疲勞試驗，係將疲勞強度為600MPa以上評定為疲勞特性良好(○)，將小於600MPa評定為疲勞特性差(x)。

[0090] [表3]

試驗內容		氮化處理前的特徵及特性					氮化處理後的特徵及特性							
		微組織		機械特性			氮化物#8			氮化處理後的機械特性				
試驗號碼	鋼	析出物中的合金元素之含量#3	肥粒鐵面積率(%)	位錯密度(m ⁻²)#4	TS(MPa)	EI(%)	λ (%)	氮化物的個數密度(m ⁻³)	氮化物的尺寸(nm)	表層硬度(Hv)	硬化深度(mm)	母材硬度(Hv)	疲勞特性	
1	A	0.012	94	8.9×10 ¹⁴	504	33	130	2.2×10 ²⁴	6	668	0.41	138	×	比較例
2	B	0.010	84	1.4×10 ¹⁵	540	29	135	0.79×10 ²³	4	456	0.39	184	×	比較例
3	C	0.015	83	1.3×10 ¹⁵	645	24	97	3.1×10 ²⁴	8	735	0.35	211	○	比較例
4	D	0.011	87	8.0×10 ¹⁴	608	27	135	0.77×10 ²³	7	512	0.43	201	×	比較例
5	E	0.013	84	4.2×10 ¹⁴	612	27	130	3.9×10 ²⁴	9	701	0.30	211	×	比較例
6	F	0.003	81	9.3×10 ¹⁴	622	26	123	2.3×10 ²⁴	8	619	0.40	134	×	比較例
7	G	0.013	91	1.2×10 ¹⁵	624	27	124	2.4×10 ²⁴	8	634	0.39	210	○	本發明例
8	H	0.014	82	6.4×10 ¹⁴	653	26	132	3.2×10 ²⁴	8	710	0.38	236	○	本發明例
9	I	0.011	83	1.1×10 ¹⁵	640	26	130	3.1×10 ²⁴	8	674	0.38	224	○	本發明例
10	J	0.014	84	1.8×10 ¹⁵	631	27	122	2.0×10 ²⁴	9	623	0.40	216	○	本發明例
11	G	0.039	81	1.7×10 ¹⁵	594	26	115	2.2×10 ²⁴	5	617	0.39	154	×	比較例
12	G	0.042	87	3.6×10 ¹⁴	581	27	121	1.9×10 ²⁴	4	613	0.38	146	×	比較例
13	G	0.012	56	1.1×10 ¹⁶	674	21	107	2.7×10 ²⁴	17	657	0.38	221	×	比較例
14	G	0.011	62	7.0×10 ¹⁵	657	22	114	2.6×10 ²⁴	7	634	0.37	213	○	比較例
15	G	0.032	87	4.6×10 ¹⁴	643	26	124	2.5×10 ²⁴	6	628	0.38	157	×	比較例
16	G	0.013	83	6.3×10 ¹³	614	27	124	0.7×10 ²⁴	4	512	0.41	183	×	比較例

脫離本發明所規定的範圍者係使框內成為灰色且以底線記載。
#3 意味以析出物的方式存在之Ti、Nb、Mo、V及Cr的合計含量。
#4 意味著從鋼板表面起算50 μm位置的位錯密度。
#5 意味著在從軟氮化處理後之鋼板表面起算50 μm的位置之氮化物。

[0091]從表3能夠得知，脫離本發明所規定的化學組成之比較例亦即試驗號碼1~6，係任一者均成為加工性或疲勞特性差之結果。因為試料號碼1係C含量較低，氣體軟氮化處理中的碳化物析出量為較少，所以母材硬度較低且疲勞特性亦差。因為試料號碼2係Mn含量較少，在氣體軟氮化之Mn氮化物析出為不充分，所以表面硬度較低且疲勞特性較差。試料號碼3係Mn含量較多，鋼板之中心偏析顯著且加工性較差。因為試料號碼4係Al含量較少，Al氮化物的析出不充分，所以表面硬度較低且疲勞特性較差。試料號碼5係Al量較多，硬化深度為變小且疲勞特性較差。因為試料號碼6係Ti含量較少，氣體軟氮化中的碳化物之析出量較少，所以母材硬度較低且疲勞特性較差。

[0092]雖然滿足在本發明所規定的化學組成，但是金屬組織係從規定脫離之比較例亦即試驗號碼11~16，係任一者均成為加工性或疲勞特性差之結果。因為試料號碼11係加熱溫度較低，無法使Ti充分地熔體化，所以在氣體軟氮化中，碳化物析出較少且母材硬度較差，結果疲勞特性較差。因為試料號碼12係冷卻速度較慢，碳化物在冷卻中析出，所以在氣體軟氮化中的母材之碳化物析出變為不充分，且成為母材硬度較差且疲勞特性較差之結果。因為試料號碼13之冷卻速度較快，形成變韌鐵組織且肥粒鐵面積率低落，所以加工性較差。因為試料號碼14之捲取溫度較低，形成變韌鐵、或麻田散鐵之低溫變態組織且肥粒鐵面積率低落，所以加工性較差。因為試料號碼15之捲取溫度較高，碳化

物在捲取中進行析出，所以在氣體軟氮化處理中，碳化物變為粗大且成為母材硬度為較差且疲勞特性較差之結果。因為試料號碼16之平整軋軋條件F/T之值較小，鋼板表層的位錯密度未充分地增加，所以在氣體軟氮化處理之表面硬度較低，其結果，疲勞特性較差。

[0093]另一方面，得知全部滿足本發明的必要條件之本發明例亦即試料號碼7~10，係顯現良好的硬化特性且藉由氣體軟氮化處理使得母材硬度充分地變，而能夠兼備良好的加工性與疲勞特性。

[0094]其次，將具有表4所顯示的化學組成之鋼溶解而製成鋼錠。將該等鋼錠於1250℃加熱1h之後，在精加工溫度為900℃、精加工厚度成為3mm之條件下進行熱軋。然後在500℃的溫度捲取之後，使用7%鹽酸水溶液將鏽垢除去而製成鋼板。

[0095] [表4]

鋼	化學組成 (質量%、剩餘部分：Fe及不純物)										
	C	Si	Mn	P	S	Al	Ti	Nb	Mo	V	Cr
A	0.004 *	0.03	1.30	0.008	0.0026	0.34	0.06	-	-	-	-
B	0.05	0.02	0.52 *	0.009	0.0031	0.37	0.05	-	-	-	-
C	0.03	0.01	2.13 *	0.008	0.0038	0.30	0.07	-	-	-	-
D	0.04	0.04	1.43	0.007	0.0042	0.03 *	0.05	-	-	-	-
E	0.05	0.05	1.31	0.009	0.0028	1.00 *	0.06	-	-	-	-
F	0.05	0.03	1.43	0.006	0.0041	0.38	0.003 *	-	-	-	-
G	0.04	0.04	1.37	0.007	0.0036	0.23	0.05	-	-	-	-
H	0.04	0.04	1.32	0.008	0.0026	0.29	0.04	-	-	0.01	0.01
I	0.03	0.03	1.44	0.007	0.0034	0.30	0.06	0.01	-	-	-
J	0.05	0.05	1.36	0.006	0.0031	0.27	0.05	-	0.01	0.01	-

* 意味著脫離本發明所規定的範圍。

[0096]而且，從上述鋼板，採取將軋軋方向設為拉伸方

向之JIS 5號拉伸試片且進行依據JIS Z 2241(2011)之拉伸試驗，來測定拉伸強度(TS)及斷裂延伸率(EI)。又，進行擴孔性試驗作為壓製成形性的指標。在擴孔性試驗，係使直徑10mm的沖切孔之毛邊成為外側且藉由60°圓錐衝頭進行擴張且測定擴孔率(λ)。該等結果顯示在表5。

[0097] [表5]

鋼	機械特性			
	TS (MPa)	EI (%)	λ (%)	加工性 評價
A *	498	35	130	○
B *	513	31	129	○
C *	638	24	97	×
D *	609	28	134	○
E *	608	27	127	○
F *	612	28	124	○
G	617	28	127	○
H	632	26	131	○
I	642	26	131	○
J	627	27	122	○

* 意味著脫離本發明所規定的範圍。

[0098]從表5能夠得知，從本發明所規定的成分組成範圍脫離之鋼C，其總延伸率(EI)為21%，擴孔率為97%，係任一者均不充分且壓製成形性較低之結果。另一方面，雖然鋼A、B及D~F係從本發明所規定的成分組成範圍脫離之鋼，但是總延伸率(EI)為25%以上，擴孔率為120%以上，壓製成形性為充分。又，在本發明規定的分組成範圍內之鋼G~J，係任一者均是總延伸率(EI)為25%以上又，擴孔率亦成為120%以上且具有優異的壓製成形性。

[0099]其次，對壓製成形性良好之鋼A、B及D~J，使用

以下所顯示的方法施行軟氮化處理之後，調查作為軟氮化處理鋼之特性。首先，從使用上述的鋼之鋼板採取硬度測定用試片及平面彎曲試片。然後，將該等試片在 $\text{NH}_3 : \text{N}_2 : \text{CO}_2 = 50 : 45 : 5$ 的環境氣體中，且在表6所顯示的加熱溫度及處理時間的條件下保持之後，施行在油溫 80°C 油冷卻之氣體軟氮化處理。從生產性的觀點而言，處理時間係設為2h以下。

[0100] [表6]

試驗 號碼	鋼	軟氮化處理條件		氮化物 #			氮化處理後的機械特性			疲勞 特性	
		加熱溫度 (°C)	處理時間 (h)	最大長度 ‡ (nm)	Mn濃度 (at%)	個數密度 (m ⁻³)	表層硬度 (Hv)	硬化深度 (mm)	母材硬度 (Hv)		
1	A *	570	2	6	81	2.3 × 10 ²⁴	638	0.42	128	x	比較例
2	B *	570	2	3 *	56 *	0.86 × 10 ²⁴ *	448	0.36	187	x	比較例
3	D *	570	2	5	97	0.73 × 10 ²⁴ *	437	0.43	199	x	比較例
4	E *	570	2	8	55 *	3.7 × 10 ²⁴	712	0.30	207	x	比較例
5	F *	570	2	8	80	2.5 × 10 ²⁴	638	0.39	127	x	比較例
6	G	570	2	6	90	2.2 × 10 ²⁴	627	0.39	210	○	本發明例
7	H	570	2	6	84	2.3 × 10 ²⁴	616	0.38	217	○	本發明例
8	I	570	2	6	86	3.1 × 10 ²⁴	631	0.38	226	○	本發明例
9	J	570	2	7	87	2.1 × 10 ²⁴	622	0.40	219	○	本發明例
10	G	550	2	2 *	83	1.8 × 10 ²⁴	553	0.36	173	x	比較例
11	G	610	2	12 *	83	0.67 × 10 ²³ *	476	0.38	180	x	比較例

* 意味著脫離本發明所規定的範圍。

意味著在從鋼的最表面起算 50μm 的深度位置之氮化物。

‡ 意味著在各氮化物之最大長度的平均值。

[0101] 藉由機械研磨或電解研磨從上述的硬度測定用試片，製造在從最表面起算 $50\mu\text{m}$ 的深度位置之TEM觀察用試料。然後，使用TEM而測定氮化物的形狀、最大長度、及個數密度、以及在構成氮化物之金屬元素中所佔有的Mn濃度。觀察係在肥粒鐵的[001]方向係與電子射束的入射方向平行之條件下進行。氮化物的最大長度，係採用在所觀察的視野所含有的氮化物之平均值來進行評價。

[0102] 又，氮化物的個數密度係如以下進行評價。因為在肥粒鐵結晶中的{001}面上所析出的氮化物之中，觀察在(001)面上所析出的氮化物係困難的，所以設為計算(100)面、(010)面上的氮化物個數且將其總數乘以1.5倍。所觀察的區域之TEM試料的厚度，係使用EELS(Electron Energy Loss Spectroscopy)的Log-ratio法而測得。藉由將所觀察到的氮化物之個數，除以觀察視野的面積與厚度之乘積而求得的體積，來求取個數密度。

[0103] 針對在構成氮化物之金屬元素中所佔有的Mn濃度，係藉由TEM-EDS測定10個氮化物中的Mn濃度且算出其平均值而求取。將該等結果一併顯示在表6。

[0104] 而且，使用硬度測定用試片，進行測定在從軟氮化處理後的鋼板表面起算 $50\mu\text{m}$ 的位置及板厚中央部之維氏硬度。硬度試驗的條件係設為試驗力 $0.3\text{kgf}(2.942\text{N})$ 且求取5處的測定結果之平均值。將從鋼板表面起算 $50\mu\text{m}$ 的位置之硬度設為表面硬度，將板厚中央的硬度設為母材硬度。又，將從鋼板表面起算至比母材硬度更硬 50HV 的深度為止

之距離設為硬化深度。

[0105] 針對疲勞特性，係依據JIS Z 2275(1978)所記載之金屬平板的平面彎曲疲勞試驗，使用申克式平面彎曲疲勞試驗機來進行評價。設為頻率：25Hz、應力比： $R=-1$ ，疲勞強度係依照重複次數：107次時間強度來進行評價。

[0106] 又，在本實施例，係將表面硬度為600HV以上、母材硬度為180HV以上且硬化深度為0.35mm以上者評定為硬化特性良好。而且，針對平面彎曲疲勞試驗，係將疲勞強度為600MPa以上評定為疲勞特性良好(○)，將小於600MPa評定為疲勞特性差(x)。

[0107] 圖1及2，係顯示在從試驗號碼6的最表面起算50 μm 的深度位置，使用TEM觀察氮化物之結果。圖1係藉由使用TEM之觀察手法的1種之環狀暗視野STEM法所拍攝的影像，能夠觀察到與母相整合而成之平均6nm的板狀合金氮化物係在{001}面上高密度分布之情況。又，圖2係顯示從氮化物及母相所得到之TEM-EDS的光譜。從圖2，得知在圖1所觀察到的氮化物，係以Mn及Al作為主成分之氮化物。

[0108] 從表6能夠得知，脫離本發明所規定的化學組成之比較例亦即試驗號碼1~5，係任一者均成為疲勞特性較差之結果。因為試料號碼1之C含量較低，母材中的碳化物析出不充分，所以母材硬度較低且疲勞特性較差。因為試料號碼2之Mn含量較低，所以表面侵入的固溶氮係未在表面附近以氮化物的方式被消耗，雖然硬化深度係充分，但是所形成的氮化物之尺寸較小，又，個數密度亦變低。因此，

析出強化不充分，表面硬度變低且成為疲勞特性較差之結果。

[0109] 因為試料號碼3之Al含量較低，促進氮化物形成係未充分，所以個數密度變低且表層的析出強化係未充分。因此，表層硬度變低且疲勞特性較差。因為試料號碼4之Al含量較高，相對地氮化物中的Mn濃度變低且結晶組成係形成M1N1的氮化物。因此從表面侵入的固溶氮係在試料表面附近被消耗且硬化深度為變小，結果成為疲勞特性較差。因為試料號碼5之Ti含量較低，母材中的碳化物析出係不充分，以母材硬度較低且疲勞特性較差。

[0110] 又，雖然試驗號碼10及11，係化學組成滿足本發明的規定，但是因為軟氮化處理條件不適當，所以在從最表面起算 $50\text{ }\mu\text{m}$ 的深度位置之氮化物的析出形態係從本發明的規定脫離之比較例。因為試驗號碼10所析出的氮化物之尺寸較小，伴隨著氮化物形成之整合應變的大小係不充分且析出強化較小。其結果，表層硬度變低且疲勞特性較差。又，因為試驗號碼11所析出的氮化物之尺寸較大，非整合化進展且個數密度亦較小，所以析出強化較小。其結果，表層硬度變低且疲勞特性較差。

[0111] 另一方面，得知全部滿足本發明的必要條件之本發明例亦即試料號碼6~9，係在從最表面起算 $50\text{ }\mu\text{m}$ 的深度位置之硬度為600HV以上，而能夠得到充分的表層硬度，而且硬化深度亦較大而為 $0.35\text{ }\mu\text{m}$ 以上，並且母材硬度亦大於200HV且具備良好的疲勞特性。

產業上之可利用性

[0112] 依照本發明，係不會損害生產性及經濟性，而在軟氮化處理前係具有優異的延伸凸緣性及擴孔性等的壓製成形性，而且在軟氮化處理後，係能夠得到從表面起形成有充分厚度的硬化層之具有優異的疲勞特性之軟氮化處理鋼。具有此種特性之本發明的軟氮化處理用鋼板及軟氮化處理鋼，係適合使用作為汽車用零件等的一般構造用零件。

【符號說明】

(無)

申請專利範圍

1. 一種軟氮化處理用鋼板，其化學組成係以質量%計，

C：0.02%以上且小於0.07%、

Si：0.10%以下、

Mn：1.1~1.8%、

P：0.05%以下、

S：0.01%以下、

Al：0.10~0.45%、

N：0.01%以下、

Ti：0.01~0.10%、

Nb：0~0.1%、

Mo：0~0.1%、

V：0~0.1%、

Cr：0~0.2%、

剩餘部分：Fe及不純物，而且

具有以下述表示之金屬組織：

滿足下述(i)式，

在鋼板中以析出物方式存在之Ti、Nb、Mo、V及Cr的合計含量係以質量%計為小於0.03%，肥粒鐵的面積率為80%以上，且在從鋼板表面起算50 μ m位置之肥粒鐵的位錯密度為 $1 \times 10^{14} \sim 1 \times 10^{16} \text{m}^{-2}$ ，

$$\text{Mn} + \text{Al} \geq 1.5 \quad \cdots (i)$$

但是，式中的各元素記號係表示在鋼板中所含有的

各元素之含量(質量%)。

2. 如請求項1之軟氮化處理用鋼板，其中

前述化學組成係以質量%計，含有選自下列之1種以上，

Nb：0.005~0.1%、

Mo：0.005~0.1%、

V：0.005~0.1%、

Cr：0.005~0.2%。

3. 一種軟氮化處理用鋼板之製造方法，係將具有如請求項1或2的化學組成之鋼素材，加熱至1150℃以上的溫度為止之後，開始軋軋且在900℃以上的精加工溫度結束軋軋，

冷卻後，藉由在470~530℃的溫度區域進行捲取，使肥粒鐵的面積率成為80%以上，隨後，

施行酸洗，酸洗後，在軋縮率為0.5~5.0%，將軋軋機荷重除以鋼板板寬所得到的線荷重 $F(\text{kg/mm})$ 與在鋼板的長度方向所負荷之每單位面積的荷重 $T(\text{kg/mm}^2)$ 之比亦即 $F/T(\text{mm})$ 成為8000以上之條件下，施行平整軋軋。

4. 一種軟氮化處理鋼，

化學組成係以質量%計，

C：0.02%以上且小於0.07%、

Si：0.10%以下、

Mn：1.1~1.8%、

P：0.05%以下、

S：0.01%以下、

Al：0.10~0.45%、

Ti：0.01~0.10%、

Nb：0~0.1%、

Mo：0~0.1%、

V：0~0.1%、

Cr：0~0.2%、

剩餘部分：Fe及不純物，而且

在從最表面起算 $50\mu\text{m}$ 的深度位置，氮化物係在肥粒鐵結晶中的 $\{001\}$ 面上析出，

在各氮化物之最大長度的平均值為 $5\sim 10\text{nm}$ ，

氮化物的個數密度為 $1\times 10^{24}\text{m}^{-3}$ 以上。

5. 如請求項4之軟氮化處理鋼，其中前述化學組成係以質量%計，含有選自下列之1種以上，

Nb：0.01~0.1%、

Mo：0.01~0.1%、

V：0.01~0.1%及

Cr：0.01~0.2%。

6. 如請求項4之軟氮化處理鋼，其中在構成氮化物之金屬元素中所佔有的Mn濃度為80at%以上。