

金型のイオン窒化技術に関する研究

浜 石 和 人

1. はじめに

イオン窒化処理法は、ガス窒化処理法などに比較して窒化速度の迅速化、化合物層組成の調整、無公害、省エネ型処理など多くの特徴があり自動車部品、プラスチック用射出成形機部品など耐摩耗性を要求される部品への適用が多くそれなりの成果も大である。またダイカストや樹脂成形金型など金型への適用例も多いが、冷間金型については成功例も見られるが失敗例も多く、これへの適用条件の確立は今後の重要な課題となっている。したがって本研究では、イオン窒化の金型への適用条件の確立を目的に着手したが、今回は、イオン窒化の金型への適用において様々な機械的性質の基本となり、また設計の目安となる表面硬さや硬さ分布について鋼の化学成分や処理条件がどのように影響するか調べた結果を報告する。

2. 実験方法

C, Cr, Alの表面硬さ、分布に及ぼす影響を検討するためJIS, SS41, S45C, SCM415, SCM435, SK3, SKS3, SKD11, SACM645 相当材の鋼種を選定し表1の条件でイオン窒化後表面硬さ、硬さ分布をマイクロビッカース硬さ計(100g)で測定するとともに試料断面表層部の組織観察を行った。

表1. イオン窒化条件

ガス比	処理圧	処理温度	時間
N ₂ :H ₂ =1:1	4 Torr	500℃	5 hr
			20 hr
		550℃	5 hr
			20 hr

3. 結果と考察

3.1 窒化に及ぼすC, Cr, Alの影響

図1に500℃, 550℃で、5時間と20時間イオン窒化したSS41, S45C, SK3の表面硬さを示す。この図より、Cの表面硬さに及ぼす影響についてみると、SS41に比べS45Cの表面硬さが高くなっているが、SK3の表面硬さは低くなる傾向を示す。また、図5～8に500℃5, 20時間, 550℃で5, 20時間窒化したSS41, S45C, SK3の硬さ分布を示すが、硬化深さも図に見る様にS45Cが最も深くSK3, SS41の順となっている。つまり表面硬さ、硬化深さともにあるC% (0.5%程度) 量までは増えるが、更にC量が増えると減少することを意味している。

次にCrとAlについては、図6に示すように相互作用があるので関連させながら検討する。

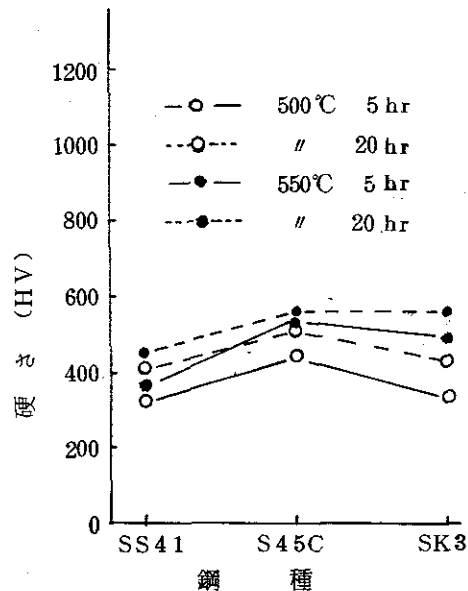


図1. 温度、時間を変化し窒化した時のSS41, S45C, SK3の表面硬さ

図10～12に500, 550℃で5, 20時間イオン窒化したSS41, SCM415, SCM435, SK3, SKS3, SKD11, SACM645の表面

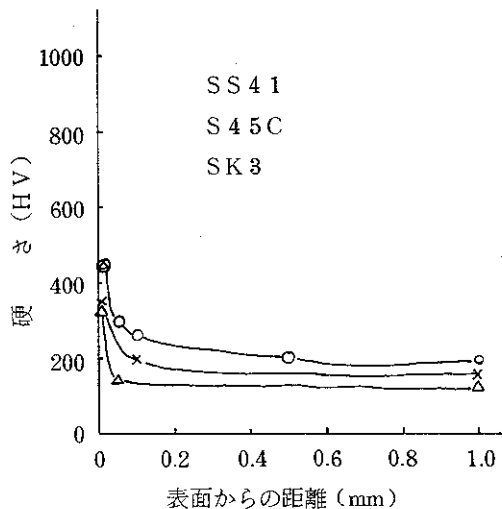


図2. 500℃で5時間イオン窒化した鋼の硬さ分布

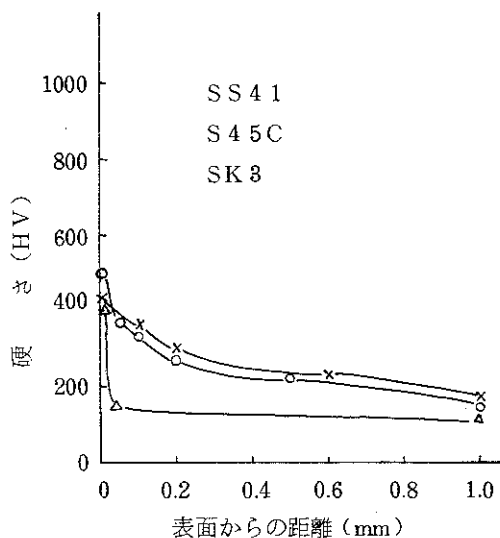


図3. 500℃で20時間イオン窒化した鋼の硬さ分布

硬さを示す。これらの図からSCM415, 435およびSKS3のCrを含む3鋼種とも炭素量に

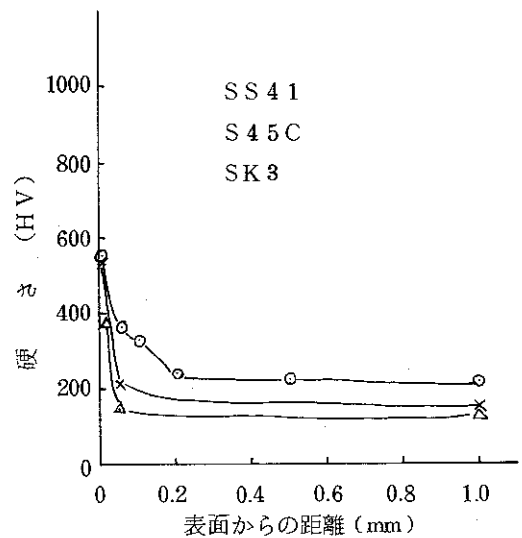


図4. 550℃で5時間イオン窒化した鋼の硬さ分布

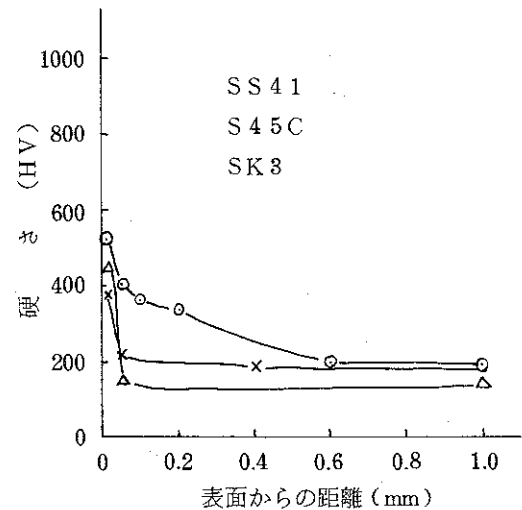


図5. 550℃で20時間イオン窒化した鋼の硬さ分布

かわらず表面硬さは高くなり、更にCr量の高いSKD11はいちじるしく表面硬さが高くなっている。また、Alを含むSACM645の場合SKD11と同様に高い表面硬さを示している。図10～21に500, 550℃で5および20時間イ

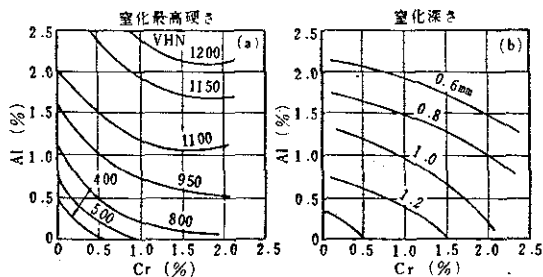


図6. AlおよびCr含有量と窒化層硬さおよび深さの関係

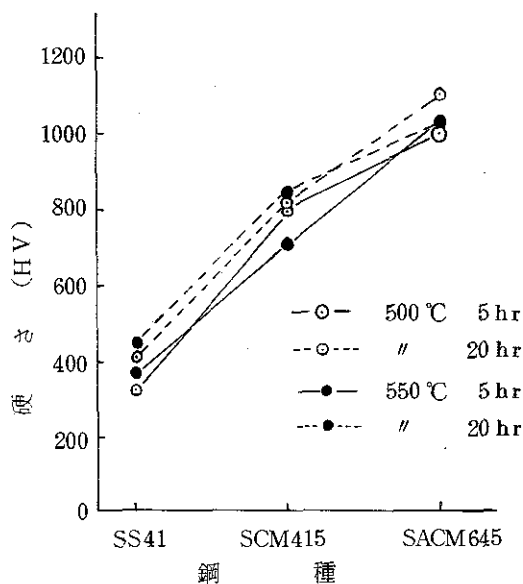


図7. 温度、時間を変化させ窒化した時のSS41, SCM415, SACM645の表面硬さ

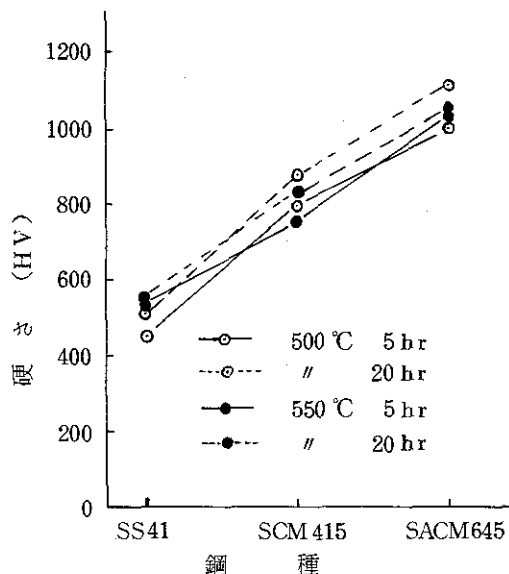


図8. 温度、時間を変化させ窒化した時のS45C, SCM435, SACM645の表面硬さ

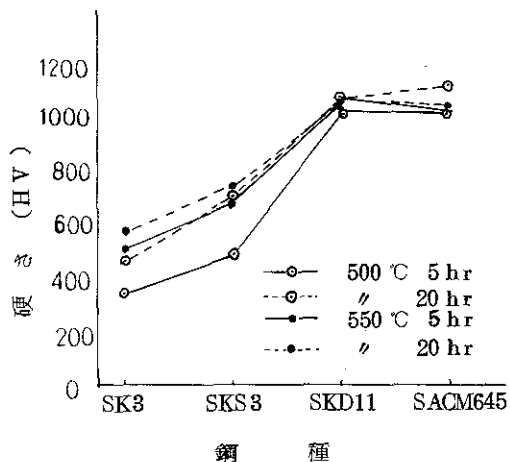


図9. 温度、時間を変化させ窒化した時のSK3, SKS3, SKD11, SACM645の表面硬さ

オン窒化したSS41, SCM415, SCM435, S45C, SK3, SKS3, SKD11, SCM645の硬さ分布を示す。図10~16からSCM415, 435の硬化深さはどの処理条件下においても、SS41, S45CおよびCrとAlを含むSACM645より深くなっていることが明らかである。一方図18~20においては、SACM645の硬化深さが最大でSKD11, SKS3, SK3の順と

なっている。つまり、SKD11, SKS3の硬化深さは、SCM415やSCM435より浅くなっていることになる。更に、SKD11, SKS3,

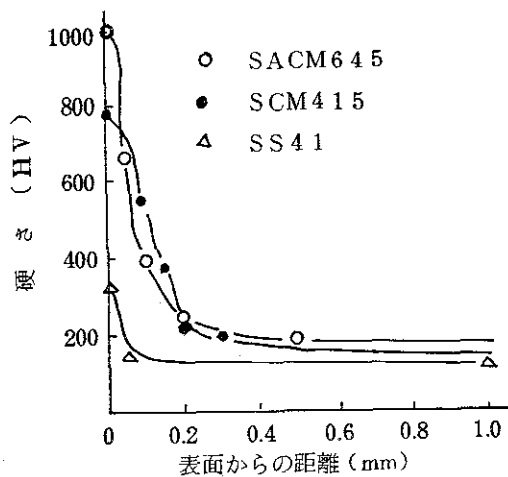


図 10. 500℃で5時間でイオン窒化したSACM645, SCM415, SS41の硬さ分布

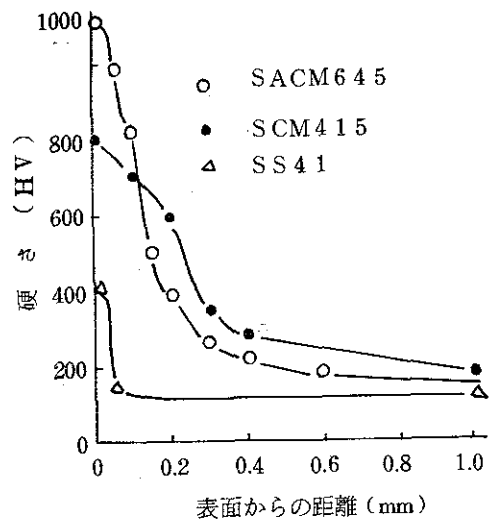


図 12. 550℃で5時間でイオン窒化したSACM645, SCM415, SS41の硬さ分布

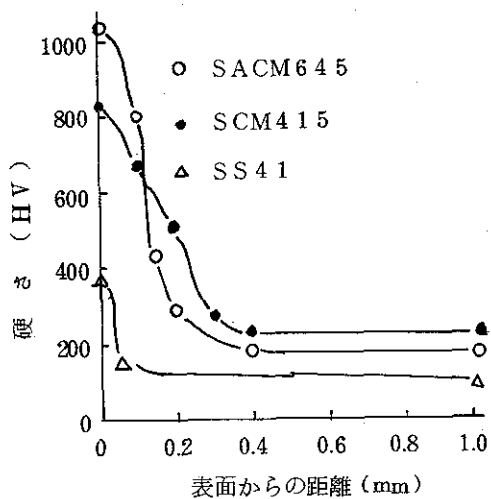


図 11. 500℃で20時間イオン窒化したSACM645, SCM415, SS41の硬さ分布

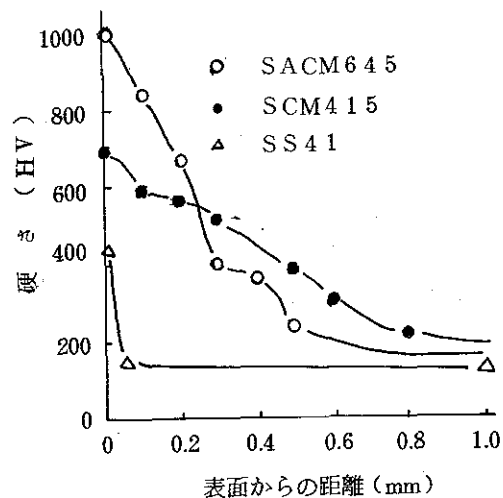


図 13. 550℃で20時間イオン窒化したSACM645, SCM415, SS41の硬さ分布

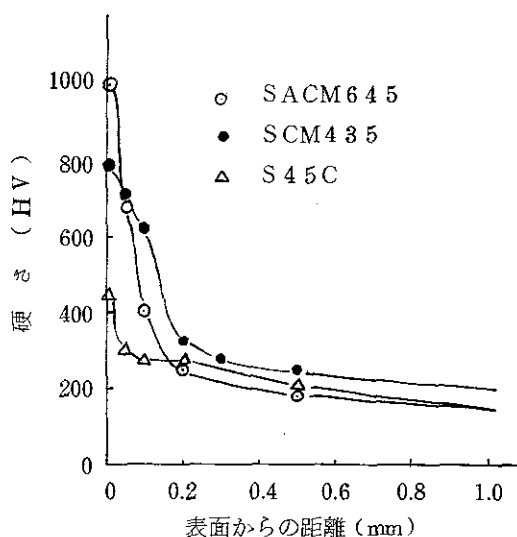


図14. 500℃で5時間イオン窒化したSACM645, SCM435, S45Cの硬さ分布

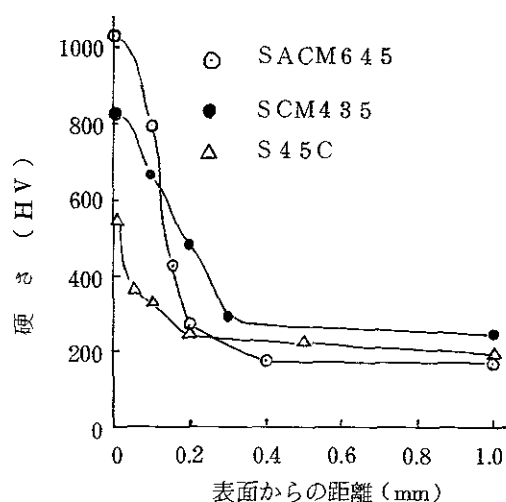


図16. 550℃で5時間イオン窒化したSACM645, SCM435, S45Cの硬さ分布

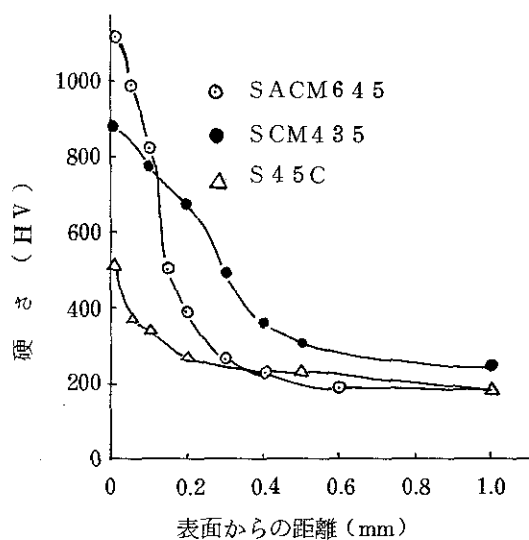


図15. 500℃で20時間イオン窒化したSACM645, SCM435, S45Cの硬さ分布

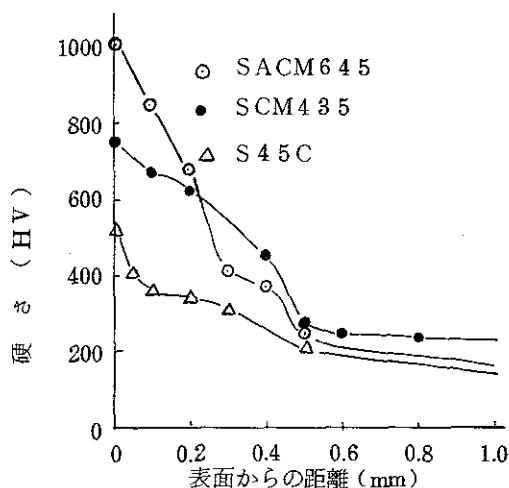


図17. 550℃で20時間イオン窒化したSACM645, SCM435, S45Cの硬さ分布

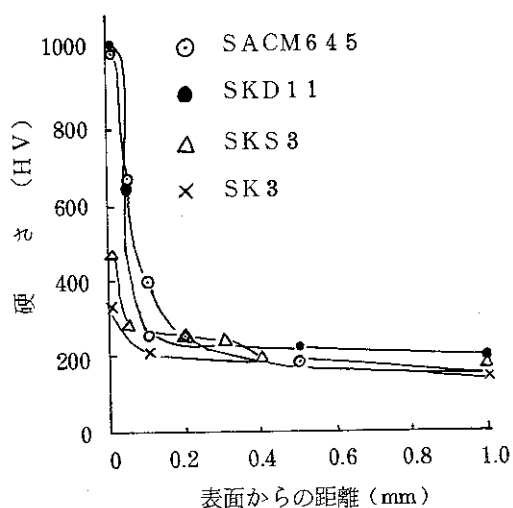


図18. 500℃で5時間イオン窒化処理した各種鋼の硬さ分布

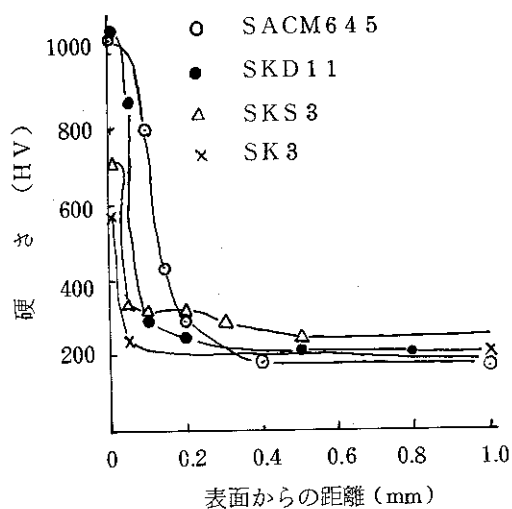


図20. 550℃で5時間イオン窒化処理した各種鋼の硬さ分布

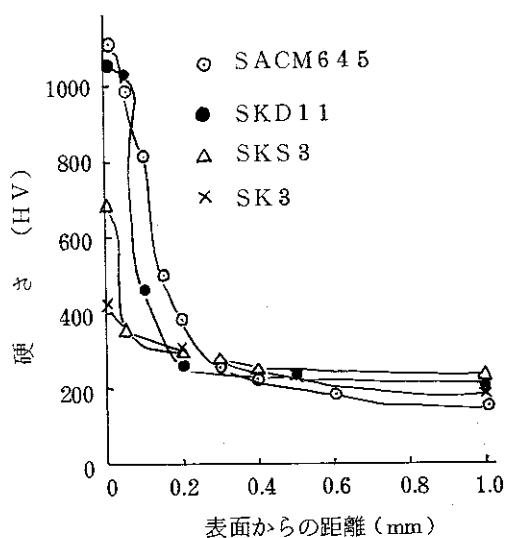


図19. 500℃で20時間イオン窒化処理した各種鋼の硬さ分布

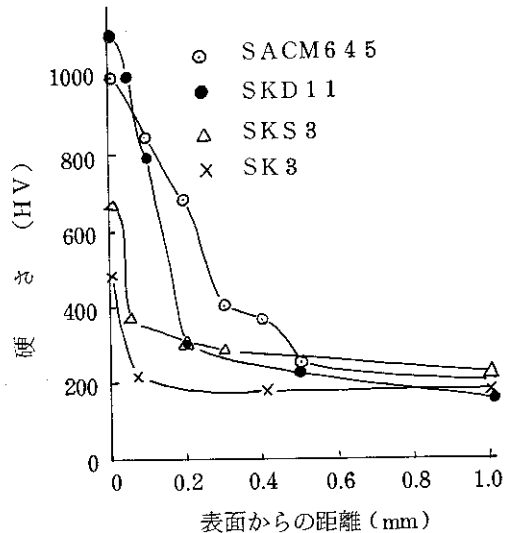
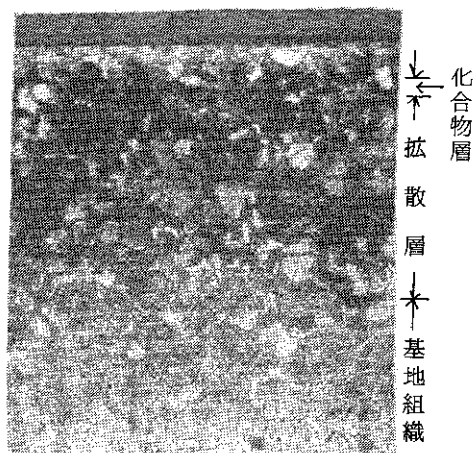
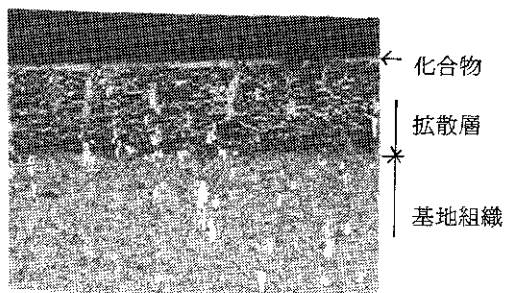


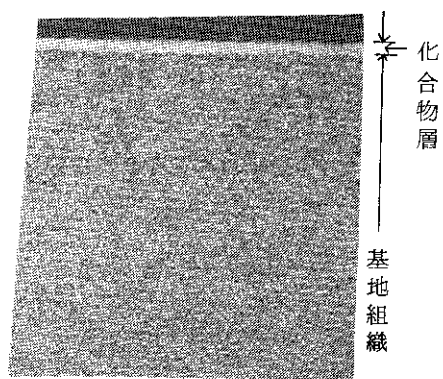
図21. 550℃で20時間イオン窒化処理した各種鋼の硬さ分布



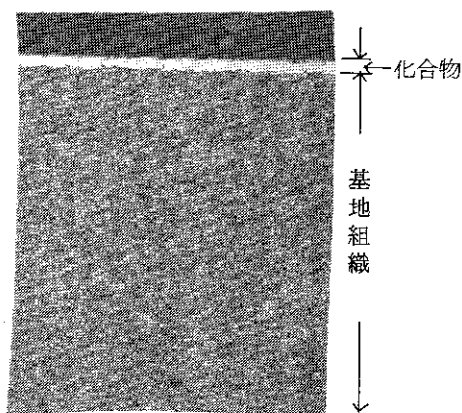
SACM 645



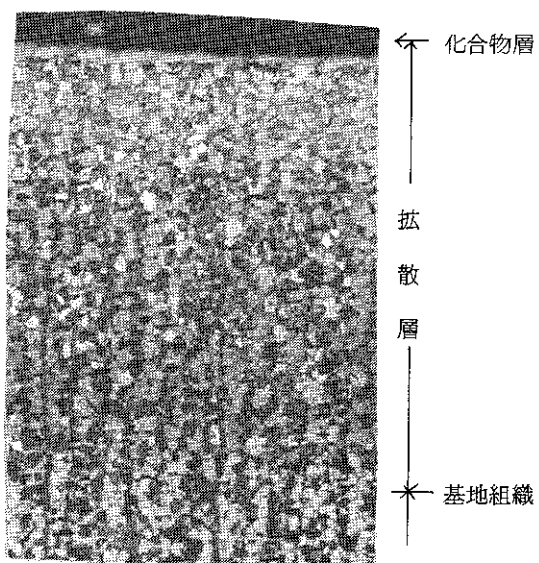
SKD 11



SK 3



SK 3



SCM 415

写真1. 550℃で20時間イオン窒化した鋼の表面組織(×100)

SK 3の硬さ分布の表面から内部への勾配はSCM 415, 435, SACM645 に比べ急である。このことは、Photo 1に示す組織結果から良く理解される。すなわちSK 3やSKS 3では化合物層は明確であるがほとんど拡散層が認められない。また、SKD 11では化合物層と拡散層が明らかに認められて、基地組織と拡散層部との境界が明瞭である。しかし、SACM645やSCM 415の場合化合物層と拡散層が認められるが、拡散層と基地組織との境界はSKD 11ほど明瞭ではない。すなわちSCM 415や435のN₂の濃度勾配はかなりゆるやかであると考えられる。

これらの結果から図6に示した様にCrやAlは窒化における表面硬さ、硬化深さに影響し、特に表面硬さに対するAlの影響はCrより大きく、また、両元素が同時に含まれると硬化深さはCr単独含有鋼より浅くなることが解った。また、Cr含量の多いSKD 11の硬化深さが、Cr含量の少ないSCM 415, 435に比べかなり浅くなったが、これは先に述べたC量の影響によるものと考えられ、C量が多くなるとNの拡散が抑制されると思われる。

3.2 窒化温度と時間が表面硬さと硬化深さに及ぼす影響

先に示した図1, 6, 7, 8から全鋼種とも表面硬さは加熱温度が高く、時間が長くなるほど高くなる傾向が見られる。また図22~26にS 45 C, SCM 435, SKS 3, SKD 11, SACM 645の500℃で5, 20時間, 550℃で5, 20時間イオン窒化した後の硬さ分布を

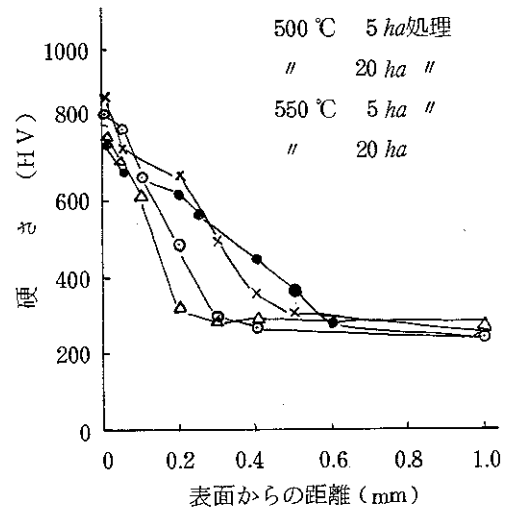


図23. SCM 435の硬さ分布

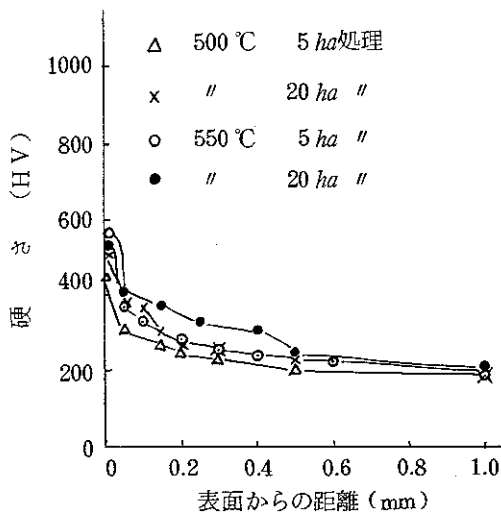


図22. S 45 Cの硬さ分布

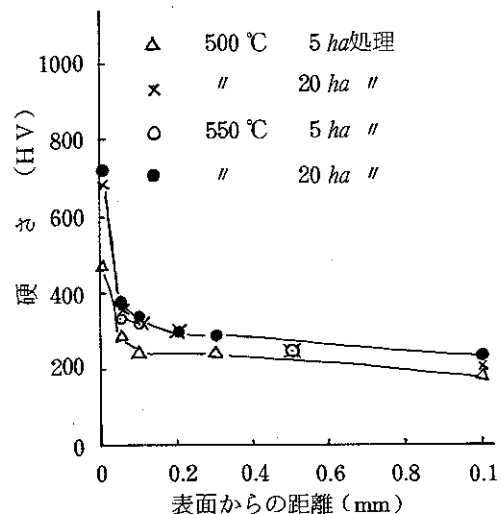


図24. SKS 3の硬さ分布

示すが、どの鋼種とも加熱温度が高く、時間が長くなるほど硬化深さも増大している。

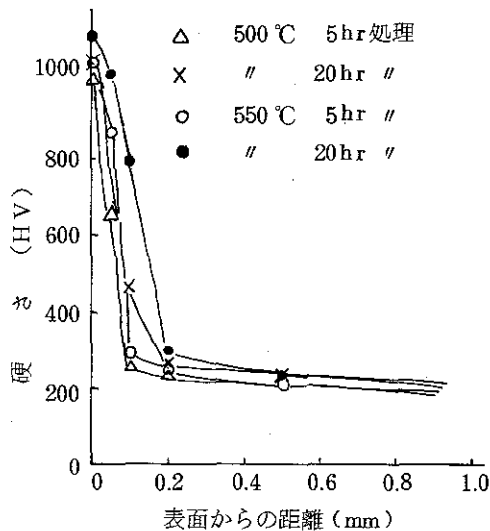


図25. SKD 11の硬さ分布

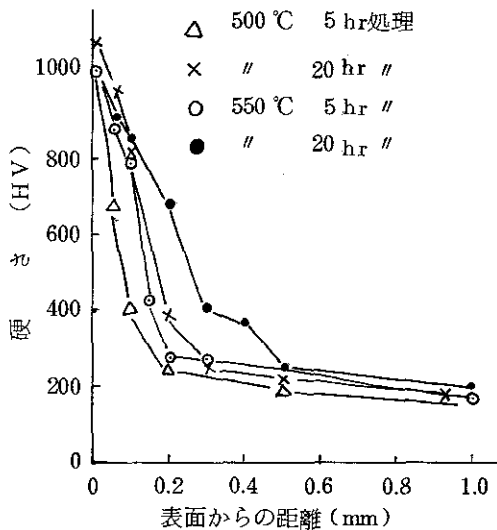


図26. SACM 645の硬さ分布

4. ま と め

今回の実験結果をまとめると以下の様になる。

4.1 窒化に及ぼす化学成分の影響

- (1) C量の表面硬さ、硬化深さへの影響はC量がS 4 5 C程度まででは増加の傾向を示

すが、高炭素になると減少傾向を示し、特に硬化深さに関しては、Crのような窒化促進元素を含む鋼種であっても炭素の多いSKS 3やSKD 11の硬化深さが炭素の少ないSCM 4 1 5, 4 3 5より浅くなることが解った。すなわち、Cは窒化抑制元素的な作用があると考えられる。

- (2) Cr とAl については、両元素とも表面硬さと硬化深さに対する影響は大きく、Crを含むSCM 4 1 5, 4 3 5, SKS 3, 高Cr 鋼のSKD 11 ともにCr を含まない鋼種よりは、表面硬さ、硬化深さも増加した。また、Cr とAl を含むSACM 6 4 5はSKD 11 と同様にいちじるしく高い表面硬さが得られた。一方、SACM 6 4 5の硬化深さは、SCM 4 1 5, 4 3 5より浅くなった。これらのことから、表面硬さに与える効果はCr よりAl が大で、両元素が同時に含まれると硬化深さは浅くなることが解った。

- (3) SKD 11, SKS 3, SK 3硬さ曲線の内部への公配はSACM 6 4 5やSCM 4 1 5, 4 3 5に比べてかなり急であるが組織写真に見るように公配の急な鋼の場合化合物層や拡散層と基底組織が他に比べて明確に区別されることが解った。

4.2 窒化温度と時間が表面硬さと硬化深さに及ぼす影響

- (1) 各鋼種とも加熱温度が高く、時間が長くなるほど表面硬さ、硬化深さも増大することが解った。

以上のような事が今回の実験で確認出来た。

5. 今後の課題

今回の実験では、金型のイオン窒化技術に関する最も基本的な事項の一部に着手した段階であり、今後金型へのイオン窒化の適用条件を確立するに

は、一層の処理条件等の検討が必要であるが、最も重要な問題として従来の試験、評価方法とは異なった窒化層の試験・評価方法の確立が掲げられる。したがって今後はイオン窒化処理条件と鋼材の表面性質の関係を従来の手法で検討してゆくとともに、窒化層の新しい観点からの試験・評価技術を確立するために研究を進めてゆく。尚本実験の一部は南方諸国技術研修生（タイ国立工業専門学校教師）サムスック・ブチャーリアン氏の協力を得て実施したものである。